

平成 27 年度 博士論文

高齢者講習データによる高齢者ドライバーの運転特性分析と
ドライバー主導型の安全運転支援の研究

Analysis of Elderly Drivers' Performance using Large-scale Test Data
and Driver-driven Typed Safety Support Strategy

指導教員

主査	小栗 宏次	教授
副査	村上 和人	教授
副査	何 立風	教授

2016 年 2 月

愛知県立大学 大学院情報科学研究科 博士後期課程 情報科学専攻
平成 23 年度入学 2011841001

中野 泰彦

概要

本研究では、近年、社会問題となっている高齢者ドライバーの交通事故を削減することを目的とし、1)高齢者ドライバーの運転適正能力の衰えを計測する方法と、2)衰えた運転能力を補う(サポート)方法について論ずる。

前者の 1)では、単なる計測ではなく、高齢者ドライバーで事故を起こす可能性がある危険なドライバーを判別するとの視点で研究を進めた。後者の 2)では、危険ドライバーの要因の 1 つである行動主導型の抑制に効果があると考えられる、指差し呼称に着目し、その効果を定量評価した。また、指差し呼称を分解し、指差し、呼称、のどこに効果があるのかを検証した。本研究によって、高齢者ドライバーの中で事故を起こしやすい危険ドライバーを早期に見つけ、そのドライバーに指差し呼称を実施させることで交通事故を削減できる可能性があることを示す。

上記 1)の運転能力を計測する方法に関しては、運転に必要な認知・判断・操作について日頃の通常の運転状態を計測できること、簡易に基礎能力を計測できることを目指し、ドライビングシュミレータを用いた計測方法を検討し、また高齢者ドライバーの中でも早急にサポートが必要となるであろう、交通事故を起こすリスクの高い、“危険な” 高齢ドライバーを早期に判別するための客観的な指標を明らかにし手法として具体化することを目的とした。

具体的には、高齢者ドライバーが免許更新時に義務付けられている高齢者講習時のデータを収集し高齢者講習時のテスト結果（データ）を解析することで、危険ドライバーの兆候がわかるのではないかと考え、高齢者講習データを収集した大規模データを用いて危険ドライバーを判別することを試みた。特に危険ドライバーの要因の 1 つであるリスク感知能力の変化を捉える方法として、高齢者が運転免許の更新時に受けるドライビングシュミレータテストや実車を用いた高齢者講習のテスト時の反応時間、正確性、衝突回数などを計測した。そして、認知症疑いのあるドライバーの特徴を見出すとともに、危険ドライバーの特徴を見出すことができた。高齢者講習データを用い、事故リスクの高い認知症疑い者に関してロジスティック回帰分析を用いることで、比較的高い判別精度（82.5%）を得られることを示した。

危険ドライバーの特徴の 1 つである正確性を欠いた行動主導型の反応を示すパラメータを用いることで、認知症疑い者の判別精度があがったことから、認知症疑い者の特徴として、正確性を欠いた行動主導型の特徴を持つことが明らかになり、この特徴を持つ認知症疑いのあるドライバーが危険ドライバーである可能性を示唆できた。

次に、上記の 2)の人間主導型で注意力を高め、危険ドライバーの特徴である行動主導型

の特徴を抑制できる方法として、鉄道などで古くから実施されている指差し呼称を取り上げた。運転という動作は複数のタスクを組み合わせた複雑なタスクであり、認知・判断・操作で成り立っている。指差し呼称という動作は、注意物体に視線を向け『指差し』、物体を確認する『呼称』という動作に分解されるが、それぞれの動作は安全運転を確実に実施するために重要な行動となっている。『指差し』では、認識すべき対象を目でしっかりと見て、認知行為をより確実に強固なものにし、『呼称』する事によって自分の声で発する行為と自分の声や言葉を自分自身の耳で聞くと同時に安全かどうかの判断を行った後、操作の動作に移ることで注意力を高めることができる。確実に判断した後に行動に移るのである。

本研究では、このような指差し呼称の効果を、主観評価 VAS (Visual Analog Scale)、心拍変動による変化 (自律神経活動)、および脳活動 (NIRS: Near-infrared spectroscopy) を用いて定量的に評価し、指差し呼称の効果の確認を行った。従来は、指差し呼称は、経験的に効果があることは知られていたが、本研究のように主観評価と客観評価の両面から定量的にその効果を確認した例は殆どなく、車向けでは初めてであった。

その結果、自律神経活動では個人差が大きく変化が安定してみられなかったものの、VAS の主観的調査では注意力の改善がみられるとともに、NIRS による評価では前頭葉の脳活動の賦活が観測され、一定の効果が認められ、指差し呼称の効果を確認できた。運転中に、信号や速度制限や一時停止マーク等の道路標識及び道路標示を発見時に指差し呼称を行うことで注意力の維持がある程度図れる可能性があることがわかった。

高齢者ドライバーの運転適性能力をその劣化状況の変化を逐次、あるいは定期的に計測すること、劣化した機能をサポートする IT 技術の両面で高齢者ドライバーを支えることで、交通事故を削減できると考えている。また本研究では、3 年ごとに義務付けられている高齢者講習時のデータを利用して運転適性能力の計測を行ったが、この計測環境を公共施設などに設置して気軽に検査が行えるようにする、あるいは車に計測機能を実装することも考えられる。出来るだけ頻繁に計測することで高齢者の能力低下を素早く見つけることができる。また劣化した運転能力をサポートするための一方法として提案した指差し呼称だけでなく、死角補助や接近する自動車や歩行者を知らせる機能、アクセルとブレーキの踏み間違えを感知する機能など、運転時に必要となる、認知、判断、操作のそれぞれに対する具体的サポート機能との併用も有効であると考えられる。

本研究が、近年、高齢者の数が急速に増えていく中で、高齢者ドライバーが安心してハンドルを握れる技術の普及につながり、高齢者ドライバーの周りを走る自動車や自転車、歩行者が安心できる世界の実現の一助となれば幸いである。

目次

概要.....	1
第1章 序論	9
1.1 研究背景	9
1.2 本研究の目的	14
1.3 本論文の構成	16
第2章 本論文の関連研究	17
2.1 高齢ドライバーの運転適性能力の計測	17
2.2 高齢ドライバーのサポート	21
第3章 高齢者ドライバーの特性分析とリスク分析	24
3.1 高齢ドライバーの特性	24
3.2 仮説：危険ドライバー	29
3.3 危険ドライバーの判定方法	30
3.4 ロジスティック回帰分析を用いた認知症疑い者の分類	45
3.5 分析の結果	46
3.6 ロジスティック回帰分析による認知症疑い者の判別	52
3.7 考察	56
3.8 結論	57
第4章 高齢者のサポート技術（指差し呼称）の提案	59
4.1 ヒューマンエラーによる交通事故の現状	59
4.2 事故低減のための自動車安全技術	64
4.3 ドライバー主体の安全運転支援	64
4.4 ヒューマンエラー防止手法としての指差し呼称	64

4.5	評価方法	69
4.6	脳血流解析	69
4.7	評価実験	80
4.8	実験結果	84
4.9	まとめ	93
第 5 章	結論	94
	謝辞.....	97
	参考文献.....	98
	研究業績.....	106

目次

図 1.	高齢者人口及び割合の推移	9
図 2.	自動車運転者（第 1 当事者）の若者・高齢者別死亡事故発生件数の推移	10
図 3.	年齢別死者数の割合	11
図 4.	関与者構成率／事故類型別	11
図 5.	本研究で考える高齢者 ITS 技術	15
図 6.	ライフスタイルを考えた実験道路	20
図 7.	シーン画像，顔，足もと画像	20
図 8.	WCST: Wisconsin カードソートテスト	21
図 9.	高齢者ドライバーの特性に対応した安心・安全なクルマ作り	22
図 10.	高齢者にやさしい小回りの利く運転しやすいクルマ	22
図 11.	動体視力と年齢[24]	25
図 12.	動体視力と年齢[28]	26
図 13.	高齢者講習の構成	31
図 14.	高齢者講習検査の様子	33
図 15.	運転適性検査診断表（表）（中部日本自動車学校提供）	35
図 16.	運転適性検査診断表（裏）（中部日本自動車学校提供）	36
図 17.	ドライビングシミュレータでのテストの様子	37
図 18.	選択反応検査の様子	38
図 19.	複数作業反応検査の様子	40
図 20.	運転行動診断の実施様子	41
図 21.	運転行動診断票	42
図 22.	データセット 1	44
図 23.	データセット 2	44

図 24.	各年代での選択反応検査(SROFR)	47
図 25.	各年代での複数作業反応検査(MROFR)	47
図 26.	複数作業反応検査の反応時間の結果 (MROFR)	48
図 27.	複数作業反応検査の衝突回数の結果(CL)	48
図 28.	3回の試験によるパフォーマンス劣化	49
図 29.	被験者 35 のパフォーマンス	50
図 30.	被験者 22 のパフォーマンス	50
図 31.	AIC 基準のみによる認知症疑い者の推定	53
図 32.	リスクドライバーの特徴を用いた推定結果	54
図 33.	リスクドライバーの特徴を用いた認知症疑い者の推定	54
図 34.	SVM を用いた認知症疑い者の推定	55
図 35.	法令違反別交通事故件数の推移[77]	60
図 36.	平成 24 年度法令違反別交通事故件数の割合	61
図 37.	指差し呼称の実施方法[85]	64
図 38.	VAS (Visual Analog Scale)	69
図 39.	脈波	69
図 40.	脈波間隔の周波数解析結果 (左赤 LF:右緑 HF)	70
図 41.	ヘモグロビンの吸光スペクトル	72
図 42.	NIRS 計測模式図	74
図 43.	NIRS 装置外観	74
図 44.	日立の光トポグラフィ	75
図 45.	NIRS 計測信号例	75
図 46.	分解された信号	78
図 47.	標識の例	80
図 48.	指差し呼称の実施方法	80
図 49.	PC での実験風景	80
図 50.	実験プロトコル	81

図 51.	ドライビングシミュレータでの実験	81
図 52.	道路上の標識を発見したら指差し呼称.....	82
図 53.	VAS による注意力変化の結果（被験者別）	84
図 54.	VAS による注意力変化の結果（平均）	84
図 55.	自律神経活動計測による注意力変化（被験者別）	85
図 56.	自律神経活動計測による注意力変化（平均）	86
図 57.	指差し呼称時の前頭葉脳活動.....	87
図 58.	コントロールの脳活動状態	87
図 59.	指差し呼称時の脳活動状態	87
図 60.	右脳側の直前レストからの変化量（PC 実験）	88
図 61.	左脳側の直前レストからの変化量（PC 実験）	89
図 62.	右脳側の直前レストからの変化量（DS 実験）	90
図 63.	左脳側の直前レストからの変化量（DS 実験）	90
図 64.	脳血流の変化量（例）	91
図 65.	ドライバーの運転行動	95

表目次

表 1.	認知症の原因別による症状の違いと運転行動の特徴.....	14
表 2.	自動化レベル及びそれを実現する自動走行・運転支援システムの定義.....	15
表 3.	単純反応検査の評価項目	37
表 4.	選択反応検査の評価項目	39
表 5.	複数作業反応検査の評価項目	40
表 6.	実地試験の評価項目	43
表 7.	1 番目のデータセット（データセット 1） First dataset.....	45
表 8.	2 番目のデータセット（データセット 2） Second dataset.....	45
表 9.	推定性能を示す各指標	52
表 10.	安全人間工学のフェーズ理論（意識レベルとエラー率の関係）	60

第1章 序論

1.1 研究背景

平成 25 年の日本の総人口は 1 億 2,729 万 8 千人（前年比-0.17%）であるが，その内 65 歳以上の高齢者は 3,189 万 8 千人（+3.59%）で，人口の 25.1%（+1.0%）を占めている[1]. 総人口が減少する一方，第一次ベビーブーム期生まれが高齢者になり高齢化率は上昇を続ける[2]. 図 1 に示すように昭和 25 年（1950 年）では，65 歳以上の男女あわせた数は，411 万人であり全体の 4.9%であった．それが，平成 12 年（2000 年）では，2404 万人まで増えて，総人口の 17.4%，そして平成 27 年（2015 年）では，3395 万人程度まで増えて，総人口全体の 26.5%程度まで高まると予想され，実に総人口の 4 人に 1 人が 65 歳以上の高齢者になる．さらに平成 47 年（2035 年）では，3741 万人程度まで増えて，総人口全体の 33.4%程度まで高まり，総人口の 3 人に 1 人が 65 歳以上の高齢者になると予想されている．

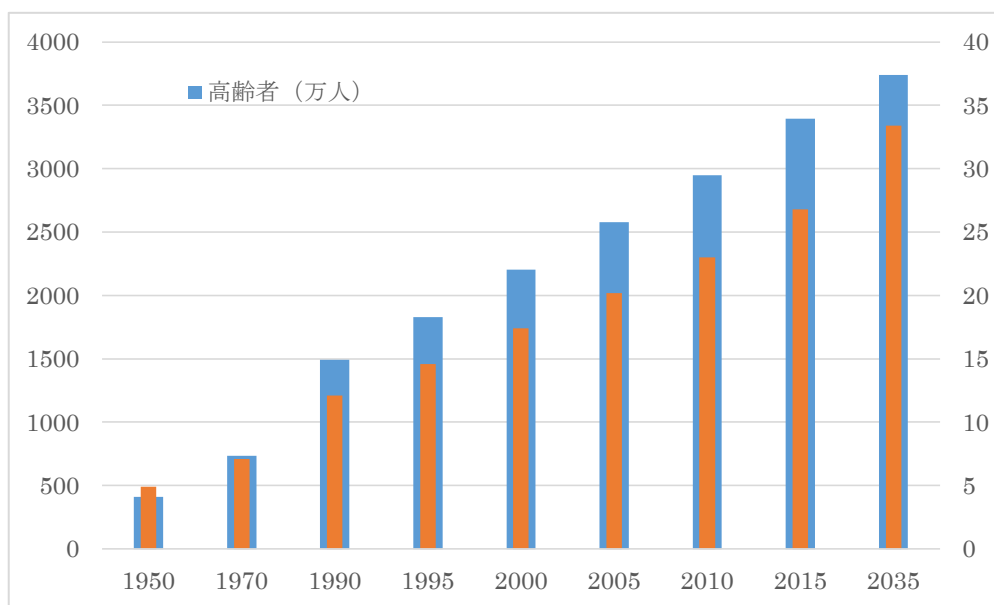


図1. 高齢者人口及び割合の推移

近年，高齢運転者数が急増し，それに並行して図 2 に示すように高齢者の死亡事故比率が急増している[3]. 平成元年の死亡者数を 1 とし，その数字からの毎年の死亡者数を増減率として，65 歳以上の高齢者，18 歳から 24 歳の若年者，そして総数での増減率を表して

いる。平成 19 年において、平成元年に比べて、若年者は 0.26 倍、総数では、0.59 倍となり、かなり減ってきているが、それに反して、高齢者の比率は 2.75 倍と 3 倍弱も増えている。こうした高齢者人口の増加に伴い、免許保有者における高齢者の割合は年々増加している[4]。平成 25 年末時点で 65 歳以上の運転免許保有数は 15,342 人であり、構成率 18.7% (+1.3%) である。

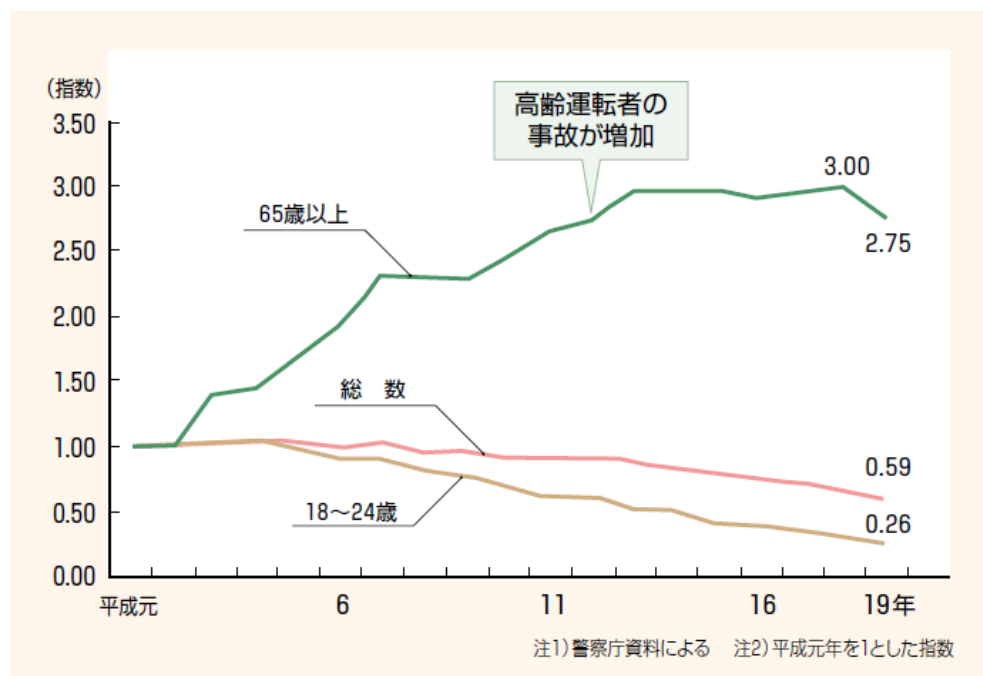


図2. 自動車運転者（第1当事者）の若者・高齢者別死亡事故発生件数の推移

図3に、平成25年（2013年）の年齢別の交通事故死者数を示す[5]。交通事故の死者数は、65歳以上の高齢者が2,303人と最も多く、次いで50～59歳の420人、40～49歳の395人の順に多くなっている。死者数のうち65歳以上の高齢者の死者数が占める割合は52.7%と過去最高となった。65歳以上の高齢者ドライバーによる交通事故数は、この10年で1.72倍になった[6]。アメリカでは、2009年に3300万人の高齢ドライバーがいる。これは、1999年から比較して23%増加している[7][8]。2011年には、走行距離ベースでは、交通事故で死亡するのは、男性では70-75歳で上昇し、女性では、65-69歳で増えている[9]。

このように高齢者の数は今後も増え続けるとともに、交通事故での高齢者の占める割合が多く、今後交通事故の数を減らしていくには高齢者ドライバーの事故を減らすことが肝要であり、このために高齢者ドライバーをITでサポートする技術（高齢者ITS）が必要となってくることが明白である、

ここで、高齢者の事故の事故類型について示す。図4は、関与者構成率／事故類型別を示したものである[10]。統計によると、高齢運転者では出会い頭の追突事故の割合がもっ

とも高くなる。生活道路を通行する機会が増えるのと、より複雑な状況で高齢者の弱点が強調されているからだと考えられる。また、わずかであるが右直事故、すなわち、右折車と直進車の事故で、いろいろな車種の場合があるが、一番多いのが直進する二輪車と右折しようとする四輪車が衝突するケースである。高齢者の動体視力や視野角が狭くなること、注意力の分散がうまくできなくなることなどが原因として考えられる。

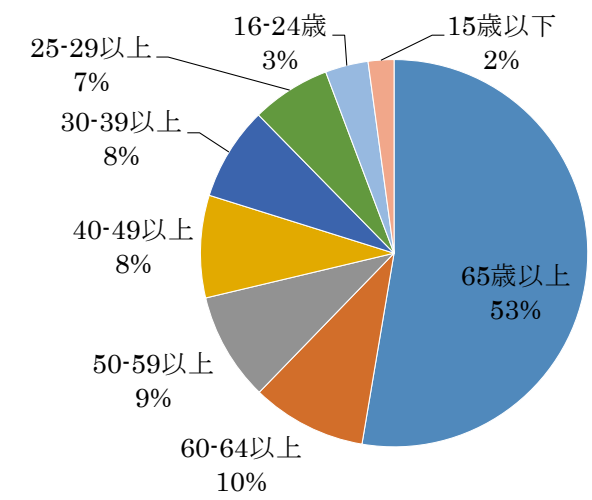


図3. 年齢別死者数の割合

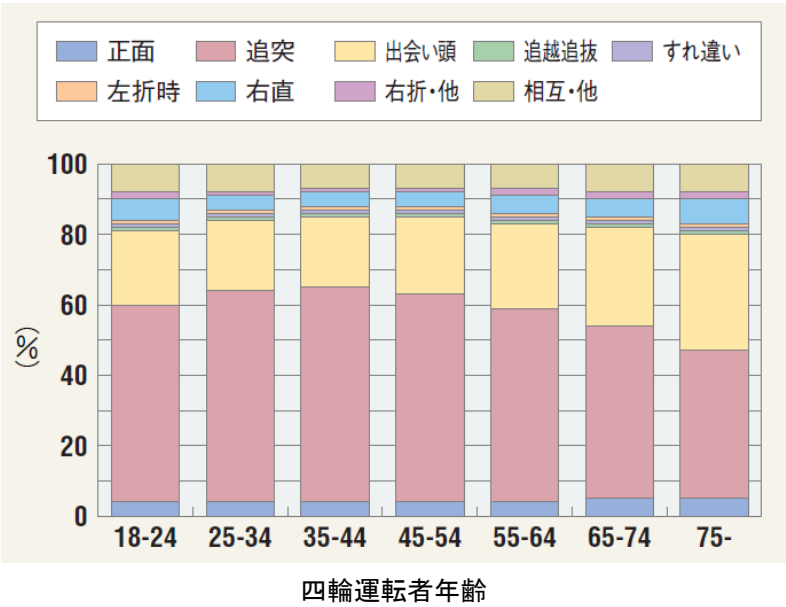


図4. 関与者構成率／事故類型別

高齢者ドライバーの一般的な特性として、下記のように大きく 4 つあると報告されている[11].

A. 身体的特性

動体視力の低下、視野の変化、コントラスト感度の低下、暗順応の低下、眩惑（夜間など、対向車のライトを直接目に受けると、まぶしさのために、一瞬視力を失った状態になること）の増大、聴力の低下、反応動作の低下、速さと正確さの低下、衝撃耐性の低下、疲労回復力の低下などがあげられている。

特に、動体視力の低下は加齢とともに静止視力以上に低下することが知られており、40 歳代後半から次第に低下する傾向にある。特に 50 歳代になると顕著に低下し、60 歳代以降はさらに低下が加速される。また視野の周辺部分における状況変化に気づき難くなる傾向も顕著となる。高齢者に多い出会いがしら事故や右直事故は、これが大きな原因のひとつとなっていると思われる。

B. 心理的特性

複雑な情報を同時に処理することが苦手になること、運転が自分本位になり、相手に甘えがちになる傾向になること、また注意力の配分や集中力の低下が挙げられている。

高齢になると、複雑な動作を同時に行うことが苦手になるだけでなく、認知・判断の段階で処理することが難しくなる。また新しい情報に接すると、その直前の情報を失念するなどの傾向も生まれ、注意力の分散や並行処理ができにくくなる。したがって、左折よりも多くの情報を処理しなければならない右折での事故が増大し、複雑な交差点での事故が増えてくる。また高齢者は自己中心的になる傾向があり、そばにいるドライバーが別の意図で行った行動を自分のためにしてくれたものと勘違いし、無防備で行動を起こしてしまう事故にあってしまうような場合もある。

C. 運転的特性

過去（若いとき）の経験にとらわれる傾向や意識と行動のミスマッチ、『慣れ』と『だろう運転』、より小さい車に乗り換えることで身体機能の低下はカバーできると過信する傾向や、高齢者に見られる大きな個人差、などがあげられる。

高齢者は自分が若くありたいと思う気持ちや経験などもあり、経験したことを引きずる傾向があり、安全確認などを十分にせずに行動を起こしてしまう傾向がある。これは、経験上、『この道では車はたぶん来ないだろう』『ここでは人はめったに来ないので飛び出しもないであろう』など都合のよいように判断して、安全を十分に確認せずに行動を起こしてしまうためである。

D. 社会的特性

コミュニケーション能力の低下や生活構造の違いからくる特性、世代からくる特性、などが指摘されている。

高齢者は、運転特性の個人差が大きいことが知られているが、その理由は一人一人の高齢者の置かれている生活上の特性に拠るところが大きい。たとえば、活動的で普段から外に出歩き生活にも満足している健康的な高齢者は安全な運転者であることが多いが、逆に家庭での生活が不満で外で発散するような場合は危険な運転者である場合が多くなる。また、このような場合は、そばの車との上手なコミュニケーションによる安全運転にも不適で、思い込みからの事故を引き起こしてしまうことも多くなる。

上記のように、高齢者は、高齢者特有の運転適性的問題を抱えており、高齢者はそれらの問題を自分自身で多かれ少なかれ気づきながらうまく付き合っ安全運転を行い、事故をできる限り起こさないように努力していると思われる。しかし、当然その努力も完全なものではなく限界がある。このような背景の中で、高齢者を積極的にサポートする技術の開発が強く望まれている。

一方、高齢者での発症が多くなってくる認知症を抱えたドライバーは、とくに事故リスクが高いとされており、これらの方々へのサポートも今後重要になってくるのは間違いないだろう。認知症の原因別による症状の違いと運転行動の特徴について表 1 に示す[3]。認知症の中で代表的な原因としてアルツハイマー病、ピック病、血管性認知症を挙げている。そのどれにも運転行動として見られるのが、交通ルール無視や注意散漫、運転中に行き先を忘れるなど交通事故との関係が深そうな症状である。また、多くの認知症患者は、発症後も運転の危険性が高いにも関わらず運転を継続し、運転中断に至っていない場合が多いようである。高齢者に多く見られる認知症患者の運転免許保有数は免許保有率と認知症の有病率から約 30 万人に上ると考えられ、認知症患者の交通事故をいかに防止するか対応が急がれる。このようなドライバーに関しても何らかの IT サポートが必要になってくるのは言うまでもない。

表1. 認知症の原因別による症状の違いと運転行動の特徴

	アルツハイマー病	ピック病	血管性認知症
記憶	出来事記憶の障害 (いつ, どこでといった記憶を思い出せない)	意味記憶が障害されることもある (言葉の意味, 物の名前が分からず, 会話が通じない)	出来事記憶の障害
場所の理解	侵される	保たれる	侵されることもある
普段の態度	取り繕い・場合わけ (もっともらしい態度や反応を示す)	我が道を行く行動, 常同行動・固執 (同じことを繰り返す, こたわり続ける)	意欲低下 感情失禁 (わずかな事で急に泣きだしたり怒ったりする)
運転行動	運転中に行き先を忘れる 駐車や幅寄せが下手になる	交通ルール無視 運転中のわき見 車間距離が短くなる	運転中にボーっとするなど注意散漫になる ハンドルやギアチェンジ, ブレーキペダルの運転操作が遅くなる

1.2 本研究の目的

本研究の目的は, 高齢者ドライバーの交通事故の削減のために 1)高齢者の運転特性の計測と 2)低下した運転適性能力をサポートする技術を提案することである. この両面が成り立つことではじめて高齢者の事故を減らすことができると考えている.

上記の 1)に関しては, 従来研究に比較して, 手軽にできるだけ日ごろの運転状態から常時計測できることを目指し, また, 高齢者ドライバーとして, 最初にサポートが必須となるであろう, “危険な”高齢ドライバーを早期に探すことを目的とした.

上記の 2)に関しては, 現在まではドライバーの運転を代替する機械による自動走行機能, たとえば, 自動ブレーキや自動駐車などの人を介さない機械制御の開発が先行し, 一定の成果をあげてきた. 内閣府の SIP (戦略的イノベーション創造プログラム) [12]による自動走行システム研究開発計画によると自動運転レベルは表 2 のように定義されている.

自動運転は, 一般ドライバー全般に考えられているもので, 高齢者ドライバーなどの特定のドライバー向けに特化したものではないが, 運転能力の低下した高齢者には特に恩恵が得られるものであると予想できる. 自動走行を実現する電子機械系の研究開発は今後も

必要となるが、完全自動走行になるにはまだ年月がかかり、ドライバーと機械との協調運転の時代が当分は続くことになると考えている。

表2. 自動化レベル及びそれを実現する自動走行・運転支援システムの定義

自動運転レベル	概要	左記を実現するシステム	
レベル 1	加速・操舵・制動のいずれかをシステムが行う状態	安全運転支援システム	
レベル 2	加速・操舵・制動のうち複数の操作をシステムが行う状態	準自動走行システム	自動走行システム
レベル 3	加速・操舵・制動を全てシステムが行い、システムが要請したときはドライバーが対応する状態		
レベル 4	加速・操舵・制動を全てドライバー以外が行い、ドライバーが全く関与しない状態		

※但し、何れのレベルにおいても、ドライバーはいつでもシステムの制御に介入することができる

本研究では、そういった機械と人間の協調運転を前提として、高齢者ドライバーとクルマが積極的に協調する形で、高齢者サポートを実現していくことを目的とする。本研究は、図5のように1)高齢者ドライバーの運転特性分析とリスク分析と2)高齢者ドライバー向けサポートの2つの側面からまとめる。

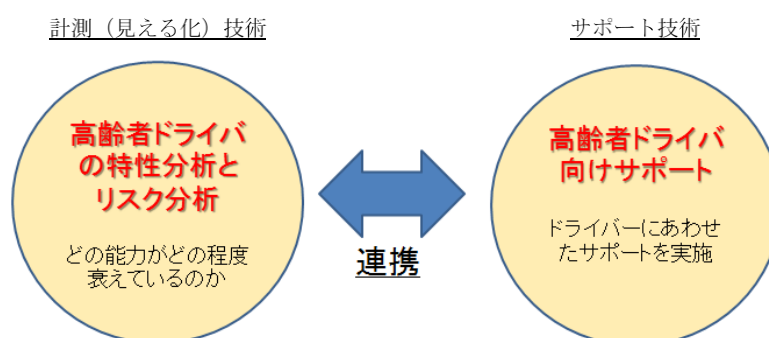


図5. 本研究で考える高齢者 ITS 技術

1.3 本論文の構成

本論文では，クルマという機械と人間の協調運転を前提として，高齢者ドライバーとクルマが積極的に協調する形で高齢者サポートを実現するための技術の提案を目的とする．第2章では本論文の研究に関連する先行研究についてまとめる．第3章では，高齢者ドライバーの計測技術として，高齢者ドライバーの特性分析とリスク分析について述べる．第4章では，高齢者ドライバー向けサポート技術について述べる．そして，第5章では，結論として今後，高齢者ドライバーによる事故をどのように減らしていけるかの提案について述べる．

第2章 本論文の関連研究

高齢者ドライバーの特性そのものは、多種多様な側面からかなりの部分で研究されているが、高齢者ドライバーの事故を減らすための具体的方法を示した研究は近年までそれほど多くはなかった。近年、高齢者の人口増加は日本のみならず社会問題となっていることもあり、高齢者による交通事故は大きな社会問題のひとつであることから、高齢者の交通事故を具体的にどう減らせばよいのかを検討した研究が盛んになってきている。その中から幾つかの代表的な研究事例を示す。

そうした研究には大きく分けて2つある。1つは、高齢ドライバーの運転適性能力をドライバーごとに計測し、どこがどれほど劣化しているかを定量評価するものである。もう1つは、高齢ドライバーの劣化した運転能力をサポートする技術に関する研究である。本節ではそれぞれについて説明する。また、高齢者の中でも特に事故リスクが高いことが知られている認知症ドライバーに関する研究についても説明する。

2.1 高齢ドライバーの運転適性能力の計測

高齢者ドライバーの運転特性を計測する方法は大きく分けて2つある。1つは、室内でのドライビングシュミレータを用いる方法と、もうひとつは実際に実車を用いて外の公道や特定路で計測する方法である。

前者は、室内で可能なことから安全であり、多くのデータを比較的短い時間で取得することが可能である。さらに、異なる被験者に対して決まったコースを同一条件で走行させることができ、実車では難しいコース設定（飛び出しなどの危険なコース設定も含め）も可能である。但し、あくまでシミュレータであることで実際の運転とは異なる運転となることで、心理面的および運動面において実際の運転と多少異なる場合があることを前提に考えねばならない。

後者の実車を用いる方法では、高齢者の普段の運転状況を取得できるというメリットは大きい。しかし、運転時の条件、たとえば、道路、天候、渋滞状況、時間などが、様々に変化する可能性があり、データのばらつきが大きくなることが予想され、簡単に比較できない場合が生じる。よって、ドライビングシュミレータでのデータ取得、および実車でのデータ取得の両方を実施することで、両方のメリットを引き出しながら比較・分析することが理想である。

A. 運転能力を計測する研究

身体能力を計測するものとして、高齢運転者のアクセルやブレーキ時の動作に関しての

研究がある[13][14]. 自動車運転において、アクセルやブレーキ操作は基本的で重要な動作の1つであり、アクセル・ブレーキ動作に要する筋活動量及び筋活動パターンを表面筋電図にて測定・比較し、自動車運転評価の1つとしての有効性を示した[13]. 対象は、自動車運転免許を取得している整形外科的疾患をもたない10名（男性8名、女性2名、平均年齢；20.9歳±0.7歳）であった. 実験の結果、アクセル・ブレーキ動作において、CRT装置よりも自動車で筋活動量がより必要であったが、筋活動パターンが類似していたことはCRTでの評価の有効性を示唆するものであった.

もう一方のブレーキ実験での研究では追突事故に焦点を当て、高齢運転者の操作特性の検討を行う事を目的とした[14]. 最近、減速時に自動ブレーキ補助が受けられる様になってきたが運転者の意図するタイミングと車両側からの補助タイミングが異なっていれば運転者に違和感を与え、それが危険に結びつく恐れがある. 高齢運転者のブレーキ操作と若年運転者の操作が同じであれば車両側からの補助タイミングは同じでよいが、ブレーキ操作が異なっていれば高齢者用の設定を設けるべきである. 後続車の運転者がどういった情報要因を基にブレーキを踏んでいるのかをドライビングシミュレータを用いた実験により求め、高齢者と若年者の差異を明らかにする事を目的とした. 先行速度や自車速度、車間距離、ストップランプ点灯の有無等、ブレーキ操作に関係があると思われる要因を高齢者（65歳～72歳）15人の男女と若年者（25歳～39歳）15人の男女で実験を行った. その結果、ストップランプ点灯の有無による影響が強いことがわかった. 特に先行車の減速度が小さく、急なブレーキ操作を必要としない場合でもストップランプ点灯の場合にはすぐにブレーキを踏んでしまっており、運転者にとって好ましくないと考えられる. 本研究の解析結果からは高齢者と若年者との間に顕著な差異はみられなかった.

B. 視野異常に関する研究

高齢運転者の視野異常の実態を他の年齢層との比較において明らかにすることを目的に研究が行われた[15]. 20歳代から80歳代以上の運転者または自動車学校に通う者に対して、ハンフリー式視野検査¹を実施した. 検査対象者は22箇所の自動車教習所に依頼し、1,393名のデータが収集された. 年齢層別に視野検査成績を集計し χ^2 検定を行った結果、若年層（20-30歳代）、中高年層（40-60歳代）、高齢層（70歳代）、そして超高齢層（80歳代以上）と視野の角度との関連は有意であった. 特に70歳以上の視野狭窄は著しいことなどが明らかになった.

C. 記憶や意識に関する研究

記憶、言葉、時間、場所の正しい認識、計算、思考等の能力を適正に働かせて、物事について正しい判断をする認知機能と呼ばれる脳の機能は加齢に伴って低下し、自動車等の運転に大きな影響を与えるものと考えられる[16][17].

脳の血管の疾患、アルツハイマー病その他の要因により脳の組織や細胞が元の状態に戻

¹様々な位置に明るさの違う光が出て、光が見えたらブザーを押してもらう検査

らないような変化を遂げてしまったため日常生活に支障が生じる程度にまでこれら機能が低下した状態を“認知症”と言う。認知機能が低下している者で認知症に至らない程度のものは、65歳以上の者のうち約30%にのぼるという推計がある。これらの機能が低下した運転講習受講者はそうでない者に比べて信号無視や一時不停止、不適切な運転操作による蛇行等の危険な運転行動をとる割合が多くなっている。つまり、記憶力、判断力等の低下が高齢運転者による事故に相当の影響を及ぼしていると言える。記憶力、判断力等が低下している者については、これらの機能が外見からは判断しにくい脳の働きであるとともに、機能が低下した本人にとってもそれと自覚しにくいため、従来、免許制度の中でこうした者を把握することには困難であった。最近では、これらの機能を簡易に測定する検査が作成され、この検査を用いることにより、多くの免許保有者を対象に迅速かつ信頼性の高い検査を行うことが可能となった[18]。

高齢者運ドライバーの意識として、諸機能が低下し、複雑な判断を要する運転が苦手であるにもかかわらず意識として運転の自己評価は高いことが報告されている[19]。このギャップが高齢運転者の交通安全に影響している可能性があるとし、それらの意識調査を実施した[20]。Rotterらは、高齢者は苦手な運転を避け、日中や好天時、非幹線道路を運転する機会が多いと報告しているが[21]、高齢になるほど高齢運転者の自己評価が高いにも関わらず家族の評価が低いことや、右左折、一時停止など自分の弱点を正しく把握していないなど安全意識と実際のギャップが大きく、必ずしも危険を避けた適切な安全運転をしているわけではないと述べている。特に80歳以上の運転者には問題が大きいとしている[18]。

ドライブレコーダを実車に装備し、高齢者ドライバーの運転特性を計測・分析した研究がある[22]。図6に示すように高齢者のライフスタイルを考慮したコース設定を予め設定して、実験道路での運転測定を実施した。定量評価を実施するために、図7に示すように車外のシーン映像、ドライバーの顔、足元などの画像を記録した。このように高齢者ドライバーの運転特性、生活特性、身体特性といった多面的な角度から特性を把握している。また、身体特性の低下具合を測定するため、20m歩行、立ち幅跳び、バランス能力、視力を測定した。加えて、自分の運転に対する意識などのアンケート調査をするとともに、柔軟性に関する脳機能の衰えを検査するために、図8に示すようなWCST (Wisconsin Card Sorting Test)を行った。ここでは、高齢ドライバーの平均的な傾向を求めるのではなく、個人差を含んだ個人特性を多面的に検討している。

上記の実験の結果、高齢者の運転特性として、加齢により平均的な衰えが見られるとともに、加齢は脳の柔軟性、認知反応特性、運転日数と関連し、若者と比較して個人特性のばらつきが大きいということがわかった。それらは、様々な生活、身体特性といった背景要因と関連付けられる。またこれらから、本研究の実験に用いた手法によって、ある程度の定量評価が可能であることもわかった。

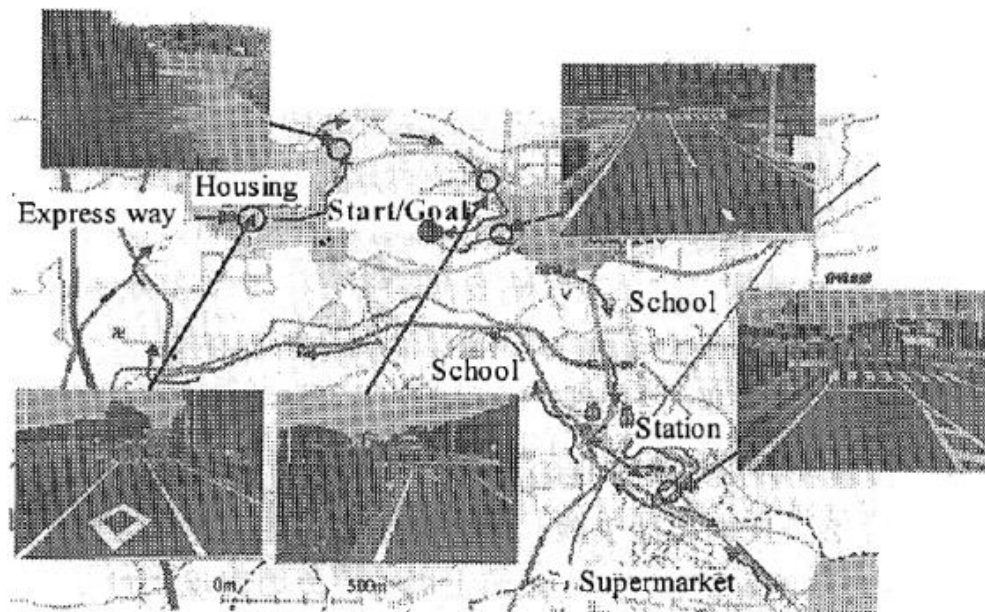


図6. ライフスタイルを考えた実験道路

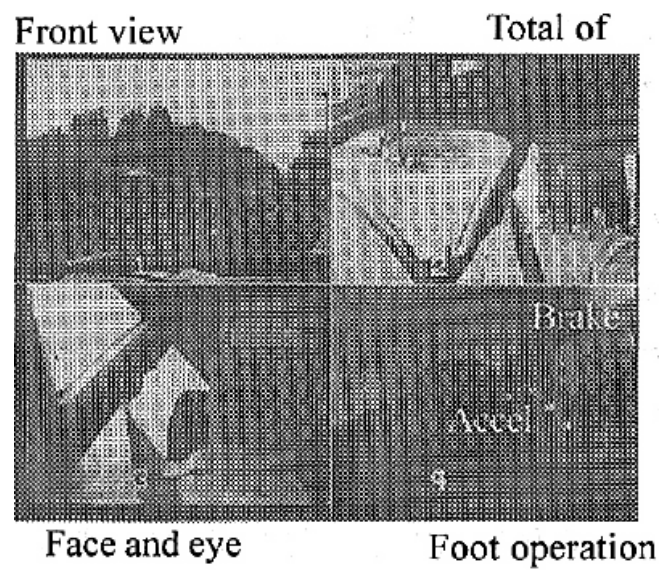


図7. シーン画像，顔，足もとと画像

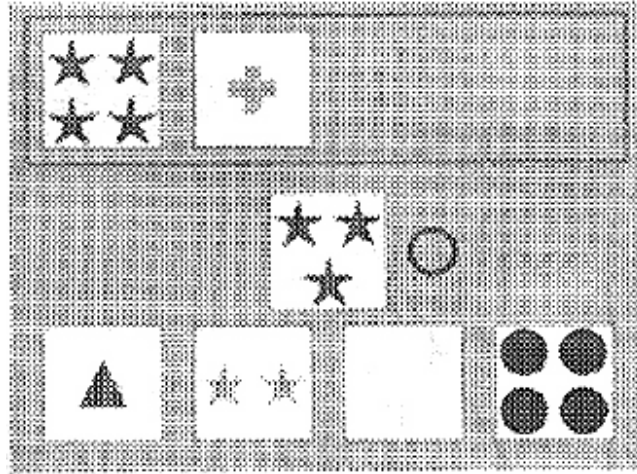


図8. WCST: Wisconsin カードソートテスト

2.2 高齢ドライバーのサポート

ドライバーをサポートする研究として、幾つか紹介する。栗林らは、ドライビングシミュレータを活用して“体験型教示”，“客体視教示”，および“口頭教示”を加えた 3 方法を実施し、高齢者に対してどの教示方法が最も効果が高いかを検証した[23].

体験型教示とは、実際に起こりえる危険な状況を設定し、最悪のケースを体験させるもので、事故を簡単に模擬できるシミュレータの利点を利用した方法である。客体視教示とは、各自の走行中の危険な状況をリプレイ機能により解説するもので、鳥瞰図による視点を変えたりプレイを即座に提示できる方法である。口頭教示とは、シミュレータの利点を使用せず、口頭のみによる提示方法である。上記の手法に関してドライビングシミュレータを用いて実験を行ったところ、体験型、客体視型、口頭型の中で体験型の教示方法がもっとも効果的であったとしている。

また、高原らは、高齢者の交通事故を類型別に見た場合に特に多い出会い頭事故の防止のために高齢ドライバーの運転特性に基づいた一時停止支援システムを提案し、その効果を検証した[24]. 一時停止発見支援（従来型）および従来型＋停止・安全確認行動支援（画面表示型・音声案内型）の 3 種類のシステムが比較され、その結果、高齢ドライバーにおいて、音声案内型支援で完全停止率および停止後の左右確認回数の改善効果が示された。

高齢者にやさしい車運転環境技術開発研究会では、高齢者にやさしい車が研究されている[25]. 高齢者の視覚機能、認知機能をサポートする機能を有する試作機が開発され、これらは車載カメラ、IC タグセンサー、処理装置、表示デバイス（スマート端末）から構成されている。死角からの車両および歩行者等をより安全な位置で確認できるようにすることで出会い頭事故を予防する。また、IC タグによる歩行者接近情報の提供や画像処理によ

る移動体検知情報の提供を行う。これを用いて機器の搭載による効果検証等の実証実験を行った。

また、ドライバーをサポートする研究として、図9および図10に示すような高齢者の運転特性の低下を考慮した車作りがある[26]。こうした車両として下記のようなサポート機能が検討されている。

- 交差点で死角から接近する測方車を知らせる機能
- 右折時の横断歩道を通行する自転車や歩行者を知らせる機能
- アクセルとブレーキの踏み違いを感知し、自動で止まる機能
- 楽な姿勢でバックの運転ができ、ぶつかりそうになると自動で止まる機能
- 夜間や雨の日、トンネルに入ったときでも周囲を見やすくする機能



図9. 高齢者ドライバーの特性に対応した安心・安全なクルマ作り

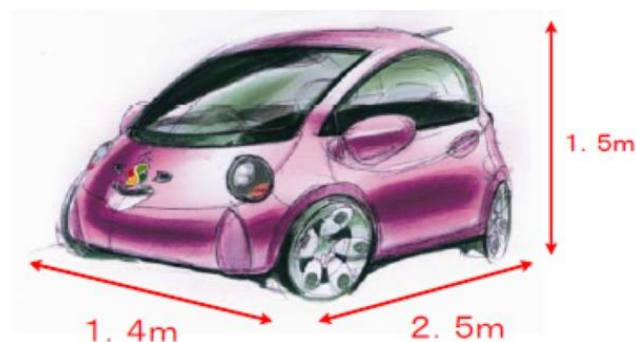


図10. 高齢者にやさしい小回りの利く運転しやすいクルマ

高齢者は、現在も将来も外出したいという気持ちがあるものの体の機能低下などにより外出が不便になる不安を感じていると指摘しており、そのような高齢者をサポートすることを目的とされている。そのために、高齢者ドライバーの特性に対応した安心、安全な車作りと普及を目指し、高度道路交通システム（ITS: Intelligent Transport System）の導入も提案している。高齢ドライバーの車の使い方は、運転能力の不安もあるため近距離運転（20km以下）が中心で、乗員人数は2名以下（1名が40%、2名が54%）であることが多い。そのような背景から、サポート機能を実装した図10のような小型車の実現が目指されている。

第3章 高齢者ドライバーの特性分析とリスク分析

3.1 高齢ドライバーの特性

高齢者人口、交通事故死における高齢者構成率、高齢者の運転免許保有人口は将来的に増加傾向にある。また、平成 25 年において、全体の交通事故件数は 10 年前と比較して 34% 減少しているのに対して、65 歳以上の高齢ドライバーの交通事故件数は同期間で 1.17 倍に増加している[27]。様々な自動車予防安全技術が発展しているにも関わらず、高齢ドライバーの交通事故件数は未だに高水準である。従って、今後も高齢者及び高齢ドライバーによる交通事故の増加が危険視されと考えられることから、高齢ドライバーへの事故防止策や安全対策の実施が今後の交通事故削減に対して最重要課題であると言われている[28]。

運転というタスクは、状況を認知し、その認知した結果から瞬時に判断し、その結果として最適な操作を実施し自動車を安全に走らせるということを、連続的に、かつ重なりあった複雑なタスクとして実行することである。通常に加齢による運転応力の低下や、あるいは、年齢によって生じる様々な病的状態の結果で自動車を安全に走らせるというタスクを実行する能力は年齢とともに次第に衰えてくる[29][30]。

そのような背景から、高齢者による交通事故の危険性は増加していると思われ、高齢者ドライバーによる交通事故をどのように減らせるかの研究自体が最近盛んに行われるようになってきた。さらに、先行研究ではアルツハイマー病を患ったドライバーは交通事故の高い危険性を持っているにも関わらず運転を継続していることを示唆している[31][32][33][34]。

本節では、高齢ドライバーの特性について記述されている“高齢者運転適性ハンドブック”（自動車技術会により出版[35]）を参考に、身体的特性、心理的特性、運転的特性また社会的特性について説明する。

3.1.1 身体的特性

A. 視力

運転者は運転中に“認知・判断・操作”を適切に繰り返すことで安全運転を実現している。中でも、認知能力に大きな役割を果たす視覚機能は、加齢に伴って運転中の視野が狭くなり周囲の対象を見逃しやすくなるとともに、動体視力や距離感の能力が低下して他者との位置関係を誤りやすくなる[36]。また、夜間などの低照度の環境では、夜間視力や暗

順応の低下により、対象の見落としが多くなる特徴がある。さらに、加齢に伴って 60 歳代で約 70%，70 歳代以上で 80～90%の高齢者が老人性白内障（水晶体の濁り）となるため、低照度の環境だけでなく、グレア環境（不快感や物の見えづらさを生じさせるようなまぶしさ）で、静止視力が大きく低下し事故につながる考えられる。

また、自動車を運転する際の外界情報の 90%は視覚に基づくと言われている[37]ので、運転において視力は非常に重要な情報要素となる。運転行動の大部分は、視覚に基づいて道路環境やインストルメントパネルなどから運転行動に関わる視覚情報を入力し、入力に対してハンドリングや右左折などのための適切な身体的動作を協応させること（視覚-運動協応 visual motor coordination）が中心である。従って、有効視野、視力、色覚の変化などが加齢によりどのような変化を受けるかを明らかにしておくことが必要である。また、慣れ親しんだ環境で、天気の良い明るい昼間の運転では若者と高齢者の差は小さいが、運転環境が変化すると年齢差は顕著になる。例えば、夜間に雨の中を運転するときには高齢者の機能低下は運転行動に大きく影響する。

車の運転に重要な役割を果たしている動体視力は、加齢とともに静止視力以上に低下することが知られている[38]。動体視力は 40 歳代後半から次第に低下する傾向にあり、特に 50 歳代になると顕著に低下し、60 歳代以降は更に低下が加速される。図 11 に、年齢別の動体視力を示す[39]。

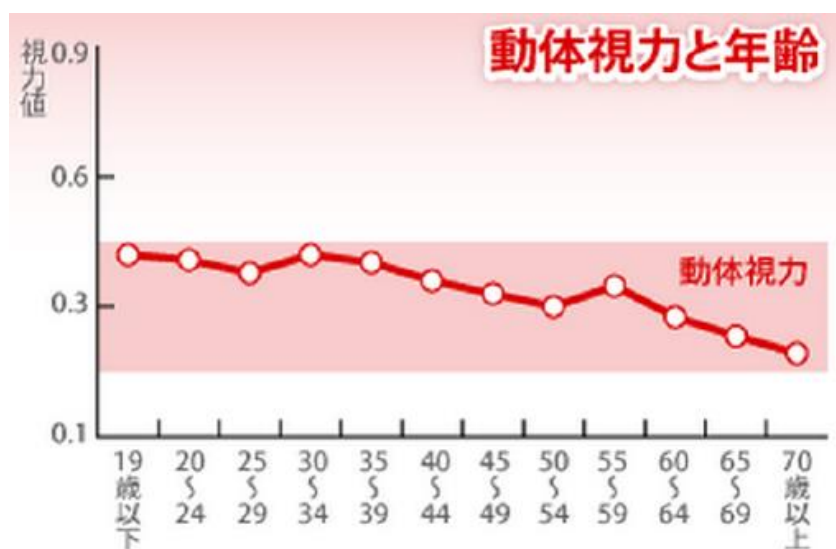


図11. 動体視力と年齢[24]

高齢者は加齢に伴い視野範囲（周辺視野）の狭小化が起こる。また視野面積は減少する[40]。更に、周辺視野ほど視標の検知度は低下すること、年齢によって視角における検知度に顕著な差があること、そして特に 70 歳以上の視野狭窄は著しいことなどが報告されている[41]。また、有効視野の広い人は狭い人に比べて、自動車の運転においての事故率が

低いことが報告されている[42]。成人の両眼の水平視野は 180 度だが、年齢を重ねるに従って視野狭窄が起こるため、高齢者の場合は約 100 度と言われており、運転中に視野の周辺部分における状況の変化に気付かない可能性が生ずる。特にスピードを上げた場合には、その傾向は一層増大する。図 12 に、年齢別の視野範囲を示す[43]。

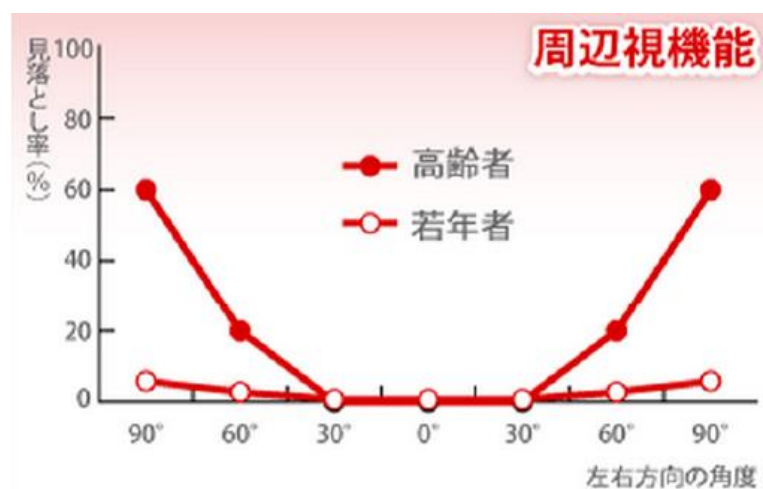


図12. 動体視力と年齢[28]

目で見て物を判断するには、明るさとともにその対象物と周囲とのコントラスト（明度の差）が重要な役割を占める。高齢者は若年者に比べ、コントラスト感度が下がり、明度の差が小さい物体を見分けることが難しくなると言われている。

暗順応とは、明るい所からトンネル等の暗い所へ入った際、初めのうちは物がよく見えず、だんだんとよく見える状態になる現象を指す。明順応とは暗い所から明るい所への順応を指す。高齢者は、若年者に比べ、暗順応の反応が遅いため、しばらくの間見えづらくなる傾向が強いと言われている。

眩惑とは、夜間など対向車のライトを直接目に受けると、眩しさのために一瞬視力を失った状態を指す。眩惑された後に普通の視力に回復するまでには3～10秒かかるといわれるが、高齢者は対向車の前照灯のような突然の明るい光によって眩惑状態に陥りやすいといわれている。

B. 聴力

高齢者においては、聴力の低下の開始には個人差があり、20 歳代から始まる人もいるが、聴力変化が明瞭になり聴力低下の進みが速くなるのは一般に 60 歳代以降である。また、加齢に伴い聴覚閾値が高くなることから、小さい音が聞こえなくなる。一方、老人性難聴では高音域を中心に聴力低下が生じるといわれ、運転に関係する会話・クラクション・警報器などの周波数域では低下が少ないため、加齢による聴力低下が運転に支障をきたすケー

スは比較的少ないという説[44]もある。

C. 反応検査・速さと正確さ

比較的単純な作業においては、高齢者と若年者との反応時間の差はそれほど大きくないが、高齢者の反応時間には速かったり遅かったりという「むら」が見られる。また、複雑な作業を同時に行う場合には“認知・判断・動作”の速さや正確さが低下することを示す先行研究が多い。情報をキャッチし、判断し、運転操作する「選択反応時間」は加齢に伴って遅くなる。

D. 衝撃耐性・疲労回復力

握力、背筋力、あるいは両脚力などの筋力については、加齢により低下するといわれている。そのために、事故に遭遇した時には衝撃に耐えられず（衝撃耐性の低下）死亡しやすくなる。高齢者の事故率を推計すると、全事故の事故率より死亡事故の事故率が高くなっており、衝撃耐性の低下が原因だと考えられる。また、高齢になると疲労時の回復力が低下してくるため、連続運転や長時間運転は避けるべきであるといわれている。

3.1.2 心理的特性

高齢になると、複雑な作業を同時に行うことが難しくなり、更に“認知・判断”の段階で複雑な情報を同時に処理することが困難になる。また、新しい情報に接するとその直前の情報を失念するといった傾向が生まれることも指摘されている。従って、左折よりもより多くの情報を処理しなければならない右折での事故が増大したり、複雑な交差点での事故が増えたりする。

また、高齢者は自己中心的な傾向があり、他のドライバーが別の意図で行った行動を、自分のためにした行動だと勘違いして安心し、無防備で行動することにより事故を引き起こしてしまう場合が生じやすい。

更に、複数の作業を同時に行おうとする時は、全ての作業に均等に気を配る注意配分能力が加齢によって低下する。高齢になると適度に注意を集中させたり、注意配分したりしながら必要かつ適切な情報を収集し対応することが困難になる。

3.1.3 運転的特性

A. 過去の経験

過去（若い時）の経験にとらわれる人間は誰しも自分を正当化したいという心情を持っている為、自分を正当化し肯定する情報はすんなり受け入れるが、自分にとって都合の悪い情報はそれを退けようとする。従って、一旦ある態度をとると、その態度や価値に固執する傾向がどうしても生まれる。高齢者はいつまでも自分が若くありたいと念じている人が多く、若い時の自分を引きずる傾向が強い為、若い時の自分の能力で判断し、行動する場合が多い。

B. 意識と行動のミスマッチ

若い時の経験にとらわれる結果、意識つまり頭で考える自分の実態と、実際の自分の行動実態との間に大きなズレ（意識と行動のミスマッチ）が生ずる。身体的特性や心理的特性に実際には変化が生じていることに気付かず、若い時の意識で運転しているといったことが見られる。

C. 「慣れ」と「だろー運転」

長年車を運転してきたことが「慣れ」を生み、慣れが危険性を増すということもある。経験上「車は来ないだろう」、「人は飛び出さないだろう」といった「だろー運転」が、見込み違いを生み事故に通じる場合がある。

D. 小さい車という過信

高齢者が自分の身体機能や運転能力の低下に気付いた場合、小さい車に乗り換えるというケースが見られる。このようにより小さい車に乗り換えることで身体機能の低下はカバーできると考える傾向があるが、運転する車が小さくなっても、それだけでは身体機能や運転能力の低下をカバーすることはできない。それまで運転したことのない車に乗り換える際に、十分な訓練をしないと、かえって危険性が増す場合もある。

E. 高齢者に見られる個人差

高齢者の運転能力は大きな個人差が見られ、60歳代でも運転能力に重大な問題が生ずるドライバーがいれば、80歳を越えても運転能力を維持しているドライバーも存在する。従って、年齢だけを基準に運転能力を問題にすることは難しい。高齢者の仲間入りをしたら、運転能力をチェックする機会をできるだけ多くして、自らはもちろん家族その他周辺の人々も運転能力に気を配ることが大切である。

3.1.4 社会的特性

A. コミュニケーション能力の低下

高齢者になると、運転が自己中心的になることに加えて、他のドライバーとのコミュニケーションがとり難くなるということも多く見られる。ドライバーには、運転しながら他の車の動向に気を配り合う関係の中で自車をコントロールすることが要求される。

B. 生活構造の違いからくる特性

高齢者に個人差が大きく見られることは個人の身体的特性や心理的特性に関わって生ずるだけではなく、一人一人の高齢者が置かれている生活上の特性によるところが大きい。例えば、高齢者が夫婦とも健康で友人も多く生活に満足している場合には安全な運転者が多いが、家庭生活の不満を外での運転によって解消するといったケースでは事故を起こす確率が高い。したがって、地域社会の中での人間関係の維持といったことが安全に強く結びつくことを理解すべきである。

C. 世代からくる特性

高齢者の特性を論ずるにあたっては、年齢の影響だけでなく、その人たちがどういう時代に生きてきたかという世代の影響も考慮に入れなければならない[45]。例えば、モータリゼーションの影響を強く受けた現在の50歳代の人達があと15年後には65歳以上になるが、その影響を必ずしも大きくは受けていない現在の65歳～74歳の高齢者とは同じ特性を持つものとは考えることは困難である。従って、高齢者の運転特性を考えるに当たっては、現在の高齢者の特性を見るだけではなく、これから高齢者になる高齢者予備軍の特性についても見る必要がある[46]。

3.2 仮説：危険ドライバー

危険ドライバーには危険を感知する能力と運転に対する姿勢という2つの要因があると言われている[47]。前者のリスク感知能力について、民田らは高齢者ドライバーが自動車学校内のコースで運転した場合をもとにその特徴を評価している[47]。それによると、次の3つの特徴があることがわかっている。

- A. 自分の運転が不完全であることに気づいていない、かつ、リスクの知覚および予測が適切に行われない
- B. 自分の運転が不完全であることは理解できているが、あえてその運転行動を選択する、かつ、リスクを過小評価する場合
- C. 自分の意図したとおりの運転行動がとれない、もしくは、自分の意図しない行動をする

危険運転に対する考え方・姿勢・態度に対しては、Nidhi[48]、Drake[49]、King[50]などの研究が関係している。Nidhiは、200人のドライバーを無作為に選択し、実験を行った。その結果、スリルを求めるドライバー、たとえば、速度超過などの交通規則をあえて守らなかつたりするドライバーは、危険なドライバーであるとしている。さらに、DrakeやKingは、認知能力より運動能力が優れている人（以降、行動主導のドライバーと呼ぶ）に危険なドライバーの傾向があるとし、アンバランスな能力が問題であるとしている。これらの結果は、実際のドライバーで得られたデータをもとにした検討結果であるので、アンバランスな能力が危険ドライバーの要因となり得るとする指摘は正しいと思われる。

また、先行研究では、認知症ドライバーの多くが運転を継続しており、交通事故の高いリスクをかかえていると報告している[33][34]。また、一方、認知症を患いながら安全に運転できている多くの認知症ドライバーがいると報告している先行研究もある[31]。

本研究は、この一見食い違う報告の理由として、危険ドライバーには何らかの特徴があるのではと推察した。事故を起こす可能性の高い危険ドライバーには、たとえば若年ドライバーによく見られるリスクを好んで犯す傾向があったり、運転経験の不足、あるいは運動能力と認知能力の不均衡な状態（行動主導型ドライバー）、リスク感知能力（たとえば、

運転中に車や歩行者が次にどのように動いてくるのかを予測して危険を回避する能力) の欠落など、幾つかの原因が考えられる。

一方、高齢者ドライバーの多くは、自分自身の運転能力低下を自覚していることから、運転に慎重になり、車間距離を大目にとり、速度を比較的ゆっくりととるなど安全運転を心がける傾向があるので、必ずしも事故リスクが高まるとは限らない。ただ、このような慎重な運転を心がける中でも、自分で意識できない部分で事故リスクが高まることもある。それは素早い動作より正確さが重要である点などである。もちろん、緊急な判断には、即座の判断と行動が必要であるが、それほど急を要さない場合もあり、そのような状況では素早い行動を多少犠牲にしても正確さを優先することが望ましい場合がある。危険ドライバーは、このような場合であっても無意識に正確さより行動が優先される場合があるのではないかと考えた。つまり、先の認知症ドライバーで運転できる方とそうでない方がいる場合は、このような行動優先の傾向が強い方が特に危険ドライバーとなっているのではないか、との仮説を立てた。

上記のような背景から本研究の考える危険ドライバーの定義は、高齢講習での認知試験でレベル 1、あるいはレベル 2 と判定され、かつ、行動優先型の傾向がある方である。行動優先型とは、認知・判断能力よりも運動能力のほうが優れていると思われる方である。これは、先行研究で危険ドライバーと報告されている方が持つ特徴のひとつである。たとえば、交差点などでの一旦停止時に対向車や歩行者の次の動きを十分に認知することができずに、あるいは認知せずにアクセルを踏んで発進して事故を起こしてしまう場合などがある。

3.3 危険ドライバーの判定方法

本研究では、高齢者ドライバーによる交通事故の数を減らすことを目的とし、民田[47]や Drake[49]らの研究成果で定義された。危険ドライバーの要因を用いることにした。そして、本研究はそれの実現のために、日本において 70 歳以上の高齢者ドライバーが免許更新時に義務付けられている高齢者講習時のデータを用いた。高齢者講習はドライビングシュミレータでの試験および実車での試験が含まれる。また高齢者予備検査、いわゆる認知試験も実施される。その結果、これらの評価およびデータによる推定によって、危険ドライバーを推定できる可能性を見出した。

この仮説を証明するために、認知能力低下の疑いのある方に対して、関係する実存データと既存研究の知見を用いながら統計的な手法で解析を実施した。認知試験の実行なしに、危険ドライバーを区別できるかを、高齢者講習でのドライビングシュミレータおよび実車データを用いてロジスティック回帰分析で試みた。高齢者講習時に必須となっている認知試験の受講なしに、認知症疑いのある方を識別できれば、それはとても有益である。この試験は認知症の疑いのある方以外の健常者に対しては全く必要のない試験であるし、逆に、もっと頻繁に行えれば事故を起こす前に対策を実施できるが、3 年に 1 度しか受講できないからである。

認知症の診断は、医者の診断が必須であるので、認知ドライバーかどうかの本当の判断は、医師の診断が必須である。よって、本研究では認知ドライバーを区別することまでは試みなかった。あくまで認知試験でレベル 1 あるいは 2 と判定された方々であり、“認知能力低下の疑いがある方”という定義で認知症疑い者として扱うこととする。

ドライバーの運転能力と交通事故の危険性を評価するために、70 歳以上の高齢者ドライバーの免許更新時に義務付けられている高齢者講習での成績データの解析を実施した。高齢者講習では、図 13 に示すように、座学のほかに、ドライビングシュミレータでのテストと実地での実車テスト、それから、高齢者講習予備試験、いわゆる認知スクリーニングテスト（認知試験）がある[51][52]。解析に使うデータとしては、できる限り多くのデータを収集することを目的とし、愛知県で 2011 年から 2014 年まで実施された高齢者講習データから最終的に 1000 人規模のデータを取得した。そして、同じドライバーが複数回受けた試験データを取得することを試み、一部ではあるが同一人物で 3 回分（3 年に 1 回なので 6 年間の変化がわかる）のデータを取得した。特に、Drake の提唱した危険ドライバーの特徴である行動先導型の要素が本データから判定できないかを評価した。

評価に使用したデータ数は、データが一部欠損していた被験者およびデータの値が明らかに異常であるものを除き、有効数 610 名のデータを用いた。3 回分のデータが揃った被験者データは有効数 63 名であった。



図13. 高齢者講習の構成

3.3.1 高齢者講習データの基本統計解析

高齢者講習とは、70 歳以上の高齢ドライバーを対象として、免許更新申請時に受講が義務付けられている講習である。この講習の目的は、自動車等の運転や器材による検査を通じて、加齢に伴う身体機能の低下とその運転への影響を受講者一人ひとりに自覚してもらい、個々の特性に応じた安全運転の方法を個別・具体的に指導することにより、高齢者による交通事故の防止を図ることである。

高齢化社会の進行に伴い、高齢ドライバーに関与した交通事故が増加傾向にあったことから高齢者講習は導入された。平成 8 年に 75 歳以上の高齢者の死亡事故件数の増加率等が他の年齢層と比較して極めて高くなったことを受けて、平成 10 年 10 月 1 日より 75 歳以上を対象に高齢者講習は実施された。その後、平成 13 年に 74 歳までの年齢層による死亡事故件数が 10 年前の約 2 倍に激増し、運転免許保有人口当りの死亡事故件数が年齢層別に見ても他の年齢層と比較して高くなったため、70 歳以上の高齢者ドライバーまでを対象とするよう改正された。

また、平成 21 年 6 月 1 日から 75 歳以上を対象として、高齢者講習の前に簡易的な認知検査である講習予備検査が義務付けられた。この講習予備検査は、Solomon[53]によって開発された seven-minute screening に基づき警察庁によって作成されたもので、テストの被験者を 3 つのレベルに分類する。レベル 1 は、記憶力・判断力が低くなっている、レベル 2 は、記憶力・判断力が少し低くなっている、レベル 3 は、記憶力・判断力に心配ない、となる。

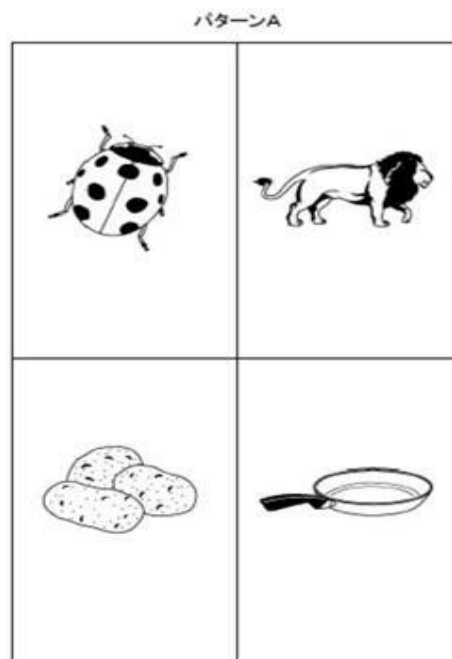
このテストは、記憶力・判断力に全く問題ない方が間違えてレベル 1 やレベル 2 に分類されることが可能な限りないように配慮され作られている。このテストで、認知症で割合の多いアルツハイマー病の方を識別できる能力が 83.5%であったとの報告がある[54]。この試験結果でレベル 1 やレベル 2 と判定されたからといって即座に免許を取り上げられることはないが、運転に必要となる認知・判断能力を簡易に計測する手段として用いられている。

高齢者講習では、ドライビングシミュレータで身体機能に関する検査を行う“運転適性検査”，受講者が実車を走行検査し指導教員の指導を受ける“運転行動診断”，記憶力・判断力を検査する“講習予備検査”，また“視力検査”が行われる。しかしながら、民田らの先行研究[47]やその他の関連研究[55]では高齢者ドライバーの分析にドライブレコーダを用いた実際の訓練コースでの実車実験しか用いていなかった。そのため高齢者講習用のドライビングシミュレータのデータでの検証についての記述がなく、講習予備検査での認知機能の低下したドライバーに関する考察もなかった。

そこで本研究では、1)ドライビングシミュレータ(図 14(a))を利用したテストデータと、2)自動車学校のコースを走行した実地テストデータ、および、3)講習予備検査(図 14(b))のデータを利用した。そして、これらのデータを単独で、あるいは相関があるかどうかを年齢、性別、認知症疑いのある方かどうかの、大きく 3 つの視点で分析を行った。それぞれのテストと解析方法について次節で順番に説明する。



(a) ドライビングシュミレータ



(b) 高齢者予備検査

図14. 高齢者講習検査の様子

3.3.2 講習予備検査

講習予備検査は seven-minute screening[53]に基づいたもので、受検者の記憶力や判断力の状況を確認して認知能力低下の疑いを認識するためのものである。高齢ドライバーによる交通事故では、記憶力や判断力の低下が事故の発生に影響していると考えられる。そこで、平成 21 年 6 月に記憶力や判断力に関する講習予備検査（認知機能検査）制度が導入され、75 歳以上の者が運転免許証の更新を受ける場合に、都道府県公安委員会が行う講習予備検査の受検を義務化された。検査項目については、時間の見当識・手がかり再生・時計描画の 3 種類が行われる。

時間の見当識では、時間の感覚を検査するもので、検査時における年、月日、曜日及び時間を回答する。手がかり再生は記憶力を検査するもので、図 14(b)のような一定のイラストを記憶し、まずは記憶しているイラストをヒントなしに回答し、その後ヒントをもとに回答を行う。時計描画は空間把握能力（物の位置を把握する能力）を検査するもので、時計の文字盤を描き、さらに、その文字盤に指定された時刻を表す針を描く。

検査終了後、採点の得点数に応じてレベル 1 から 3 までに認知機能レベルを判定される。それぞれレベル 1 は「記憶力・判断力が低くなっている」、レベル 2 は「記憶力・判断力が少し低くなっている」、レベル 3 は「記憶力・判断力に心配ない」となる。テスト結果とし

て、記憶力・判断力（認知症疑い）の低下があり、かつ近年、交通違反歴（たとえば、信号無視や一時停止違反など）がある場合、その被験者は新たに医者に見てもら（メディカルチェック）ように警察より依頼される。

3.3.3 ドライビングシュミレータでのテスト

運転適性検査は、高齢ドライバーの身体機能や判断能力を測定する検査である。この検査には運転適性検査器と呼ばれるドライビングシュミレータが用いられる。図 14(a)に、新潟通信機株式会社製の運転適性検査器を示す[56]。運転に必要とされている“認知・判断・操作”を行ったときの反応の速さや正確さを測定することができ、検査の結果より、高齢者ドライバーに加齢による衰えを自覚させることが目的である。竹井機器工業株式会社[57]、三菱プレシジョン株式会社[58]、日立ケーイーシステムズ[59]が同様の機器を出している。ハンドル、アクセル、ブレーキなど自動車を模擬した運転席の前にモニタが設置されており、受講者はモニタに提示された課題を行う。この検査において、運転に必要とされている“認知・判断・操作”を行ったときの反応の速さや正確さを測ることができる検査である。検査の結果より、高齢者ドライバーに加齢による衰えを自覚させることが目的である。

ドライビングシュミレータを運転能力を計測するために用いる（図 14(a)）。このテストは、警察庁により開発された。運転適性検査の実施後には、各受講者に対して自身の運転適性検査診断表が配布される。図 15 および図 16 に運転適性検査診断表を示す。

運 転 適 性 検 査 (高 齢 者 用)						受講者番号 001(B)
氏 名	受験者 1	性 別	男	検 査 日	平成 25 年 3 月 5 日	
免許証番号	111111111111	年 齢	53	生年月日	昭和 35 年 1 月 1 日	

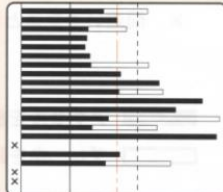
状況の変化に対する反応の速さと正確さ

反応の速さ	1	反応の正確さ	2	反応のむら	1
-------	---	--------	---	-------	---

* あなたは運転中注意散漫となったり、考え事やぼんやり運転の傾向が強く認められます。反応の遅れは注意しているつもりでもおこります。

* あなたの状況判断はやや正確さに甘さが見られ、不正確な操作をする傾向が見られます。運転中は前方をよくみて、正確な操作をしましょう。

平均反応時間
1.20 (0.50)



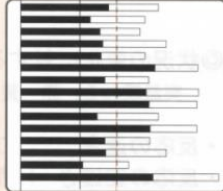
複 数 の 作 業 を 同 時 に 行 う 能 力

反応の正確さ	5	反応の速さ	1	反応のむら	1	ハンドル操作	4
--------	---	-------	---	-------	---	--------	---

* あなたは道路周辺の交通状況（路上の歩行者、自転車、バイク等）に気づくのが大きく遅れる時があります。安全確認と広い視野を保持した運転が必要です。

* あなたは状況にあった速さで確実な判断・操作のできる方です。いつも確実に一時停止や安全確認を行う、運転を心掛けましょう。

平均反応時間
0.99 (0.61)



総 合 コ メ ン ト

上記の検査における総合的な評価の結果 あなたは

1

クラスです。

あなたは、本検査による行動機能に甘さがみられ、運転には人一倍の注意をはらう必要があります。事故のない運転は動作の早さだけでなく、周囲の状況をよく見て、落ちついてその状況にあった対応と処置が必要です。スピードをださず十分な車間空間をとり、日ごろ心と体の調子を整え、時間の余裕をもった運転をする必要があります。各検査のコメントをよく読んで安全運転を心掛けてください。

判定は相対評価で、評価値 5（優れている）4（やや優れている）3（普通）2（注意を要する）1（注意）を示しています。

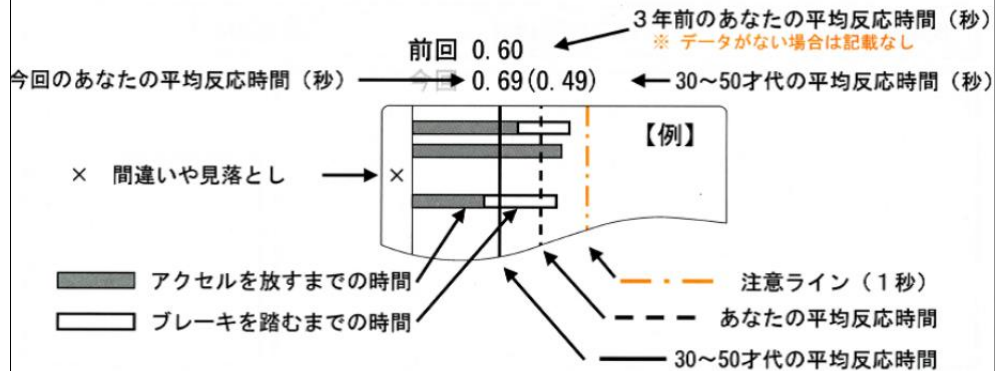
かならず裏面の説明をご覧ください

図15. 運転適性検査診断表（表）（中部日本自動車学校提供）

診断表の見方

★グラフ表示の見方

- ・注意ライン — · — を越えている反応は遅すぎです。
- ・ の長さが短く一定なほど良い反応です。



★判定結果の見方

各指標の () 内の数字は30~50才代の基準で判定した結果です。

【例】

反応の速さ

3 (2)

あなたの年代の基準で評価した値

30~50才代の基準で評価した値

◎状況の変化に対する反応の速さと正確さ(選択反応検査)

突然現れる、赤・黄・青色の信号に反応していただきました。

- ・反応の速さ : アクセルを放すまでの反応時間を評価しました。
- ・反応の正確さ : 間違った反応の数を評価しました。
- ・反応のむら : 反応時間のバラつきを評価しました。

◎複数の作業を同時に行う能力(複数作業検査)

ハンドル操作で障害物を避けながら、赤・黄・青色の信号に反応していただきました。

- ・反応の正確さ : 間違った反応の数を評価しました。
- ・反応の速さ : アクセルを放すまでの反応時間を評価しました。
- ・反応のむら : 反応時間のバラつきを評価しました。
- ・ハンドル操作 : 障害物を避けられずに接触した数を評価しました。

図16. 運転適性検査診断表(裏)(中部日本自動車学校提供)

このテストは、4つのパートから成るが、我々は、主要な3つのテストデータを用いた。単純反応検査、選択反応検査、複数作業反応検査の3つである。これらの3つのテストについて、それぞれ簡単に説明する。



図17. ドライビングシミュレータでのテストの様子

A. 単純反応検査

単純反応検査は、基本的な反応試験である。被験者は、ドライビングシミュレータ上のディスプレイに示された道路をまっすぐ運転する（図 17）。被験者がアクセルを踏むと自動的に一定速度となりステアリング操作はない。道路の先に信号があり、運転中にこの信号の色が変わる。信号の初期状態は、黒色であり、運転中に赤色に変わる。信号が赤色に変わったタイミングで、できるだけ早くアクセルを離すよう指示されている（Red-Lift）。この時の、信号が変わったことに気づき、アクセルを離すまでの時間を計測する（表 3）。

表3. 単純反応検査の評価項目

イベント	運転タスク	
	信号	計測内容
Red-Lift	赤	アクセルオフ 反応時間

参考: 時間 (msec)

B. 選択反応検査

選択反応検査（Single-tasking Test）は、状況の変化に対する反応の速さと正確さを測る検査である。被験者がアクセルを踏むと自動的に一定速度となりステアリング操作はない。道路の先に信号があり、運転中にこの信号の色が変わる。信号の初期状態は、黒色であり、運転中に、信号は、赤色、黄色、緑色に変わる（図 18）。被験者は、色によって異なる反応をするように指示されている。

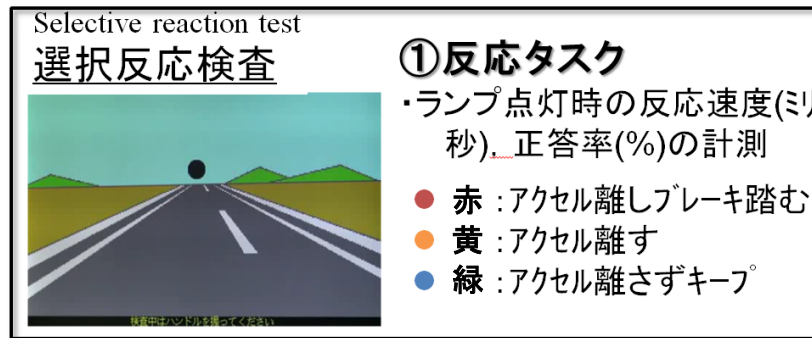


図18. 選択反応検査の様子

信号が赤色に変わる時は、被験者はアクセルを離す（Red-lift）、そして即座にブレーキを踏む（Red-Change）。信号が黄色に変わる時は、被験者はアクセルを離す（Amber-lift）が、ブレーキは踏まない。信号が緑色に変わる時は、被験者はアクセルをそのまま踏み続け（Green-Keep）、アクセルを離してはいけない。テストでは、反応時間と反応の正解率を計測する（表 4）。

C. 複数作業反応検査

複数作業反応検査は、被験者の運転に対する集中力と適切な注意の分散能力について計測する。このテストは、複数のタスクを同時実行するもので、障害物をハンドル操作で避けると同時に道路上の信号の変化に対しアクセル、ブレーキ操作を行う（図 19）。道路の先に信号があり、運転中にこの信号の色が変わる。信号の初期状態は、黒色であり、運転中に、信号は、赤色、黄色、緑色に変わる。被験者は、色によって異なる反応をするように指示されている。反応の仕方は、選択反応試験と同じである。テストでは、反応時間と反応の正解率、それに左右それぞれの障害物への衝突回数を計測する（表 5）。

表4. 選択反応検査の評価項目

イベント	運転タスク	
	信号	計測内容
Red-Lift	赤	アクセルオフ反応時間 (SROFR: Selective red -off response)
Red-Change	赤	ブレーキオン反応時間 (SRONR: Selective red -on response) ブレーキオン正解率 (SRA: Selective red answer)
Amber-Lift	黄	アクセルオフ反応時間 (SAOFR: Selective amber-off response) アクセルオフ正解率 (SAA: Selective amber answer)
Green-Keep	緑	アクセルキープ正解率 (SGA: Selective green answer)

参考: 時間 (msec)

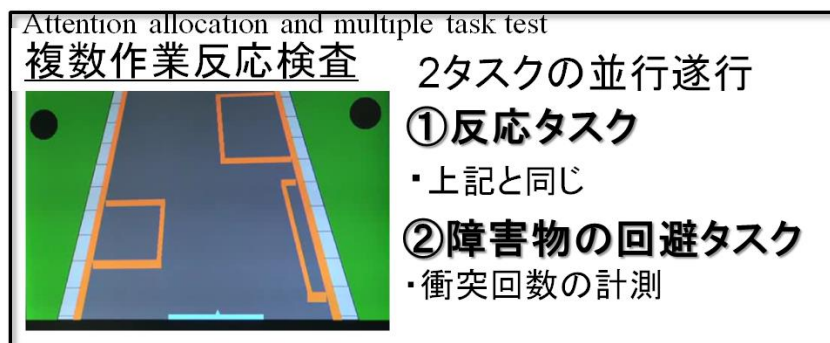


図19. 複数作業反応検査の様子

表5. 複数作業反応検査の評価項目

イベント	運転タスク	
	信号	計測内容
Red-Lift	赤	アクセルオフ反応時間 (MROFR: Multiple red-off response)
Red-Change	赤	ブレーキオン反応時間 (MRONR: Multiple red-on response) ブレーキオン正解率 (MRA: Multiple red answer)
Amber-Lift	黄	アクセルオフ反応時間 (MAOFR: Multiple amber-off response) アクセルオフ正解率 (MAA: Multiple amber answer)
Green-Keep	緑	アクセルキープ正解率 (MGA: Multiple green answer)
Collision 衝突	右/左	衝突回数 右/左 (CR: Collision right/CL: Collision left)

参考: 時間 (msec)

3.3.4 実地試験（運転行動診断）

実地試験（運転行動診断）では、被験者は実車に乗り込み、助手席のインストラクターの指示通りに自動車学校の校内コースを運転する。運転行動診断の実施様子を図 20 に示す。走行するコースは、高齢者ドライバーの交通事故が多い出会い頭や一時停止などを含んだコースであり、それぞれのシーンで安全な運転行動が行えているかを同乗した指導教員がチェックする。表 6 に運転行動診断のチェック項目を示す。交差点・一時停止など 4 つの大項目に対して、信号の確認・合図の有無などの小項目があり、全部で 17 項目で構成されている。また、チェック項目とは別に、受講者の運転について指導教員から最後に講評を書く事になっている。図 21 に実際に使用されている運転行動診断表を示す。評価を行う際には、講習予備検査の結果が第 2 分類、第 1 分類と評価された受講者については運転行動診断の実施の仕方が異なる。

この研究では、4つの典型的なタスクである信号機のある交差点時、一時停止サイン時、車線変更時、カーブ道路での運転を特に観察した。各タスクにおいて、必要な時に安全にかつ正しく実行出来た回数を積算し、運転能力の尺度とした。



図20. 運転行動診断の実施様子

平成 年 月 日

別記様式 2

高齢者講習用

運転行動診断票

受講者名	様	生年月日	年	月	日生	指導員名	印
------	---	------	---	---	----	------	---

課題	項目	第3分類・ 75歳未満	第1分類・第2分類			備考
信号機のある交差点	信号機手前での減速	<input type="checkbox"/>	1	2	3	
	信号の確認	<input type="checkbox"/>	1	2	3	
	信号に従った運転	<input type="checkbox"/>	1	2	3	
	特記事項					
一時停止標識のある交差点	交差点手前での徐行	<input type="checkbox"/>	1	2	3	
	一時停止標識の確認	<input type="checkbox"/>	1	2	3	
	確実な停止	<input type="checkbox"/>	1	2	3	
	停止位置	<input type="checkbox"/>	1	2	3	
	交差道路の安全確認	<input type="checkbox"/>	1	2	3	
	二段階停止	<input type="checkbox"/>	1	2	3	
	特記事項					
進路変更	合図の有無	<input type="checkbox"/>	1	2	3	
	合図の時期	<input type="checkbox"/>	1	2	3	
	安全確認	<input type="checkbox"/>	1	2	3	
	緩やかな進路変更	<input type="checkbox"/>	1	2	3	
	特記事項					
カーブ走行	カーブ手前での減速	<input type="checkbox"/>	1	2	3	
	曲り具合に応じた速度	<input type="checkbox"/>	1	2	3	
	ふらつきのない運転	<input type="checkbox"/>	1	2	3	
	正しい運転姿勢	<input type="checkbox"/>	1	2	3	
	特記事項					
講 評						

注1 できた項目にチェック(✓)を入れる。第1分類・第2分類における数字は、繰り返し実施した回数を示し、実施している回数のところをチェックを入れる。

注2 網掛け部分は、特に重要な指導項目を示し、第1分類・第2分類の繰り返しの目安とする。

図21. 運転行動診断票

表6. 実地試験の評価項目

イベント	運転タスク	
	サイン	計測内容
Signal crossing 交差点行動	Signal 信号	正しい運転行動の回数 Counting the number of correct operations (SIG)
Stopping 一時停止	Stop sign 一時停止	正しい運転行動の回数 Counting the number of correct operations (STOP)
Lane change 車線変更	None なし	正しい運転行動の回数 Counting the number of correct operations (LANE)
Curve driving カーブ走行	None なし	正しい運転行動の回数 Counting the number of correct operations (CURVE)

3.3.5 データセット

高齢者講習から出来る限り多くのデータを収集することを試み、本研究では 1000 名規模のデータ収集に成功した。さらに、同一の被験者が高齢者講習を 3 回受験した場合の貴重なデータも入手できた。このデータで同一人物の経年変化を調査することができた。

また本研究では、解析のために 2 つのデータセットを用いた (図 22 および図 23)。最初のデータセットは、高齢者ドライバーの高齢者講習データのフルセットで、講習予備検査 (認知試験)、シュミレータテスト、実地テストの 3 つが揃ったもので、2010 年と 2011 年に愛知県で取得したデータである。データ数は 610 で、610 名が 1 回ずつ受講したデータである (図 22 および表 7)。

2 番目のデータセットは、高齢者ドライバーの高齢者講習データのサブセットで講習予備検査 (認知試験)、シュミレータテストの 2 つで、2007 年と 2010 年と 2013 年の 3 回で愛知県で取得したデータである。実施テストでのデータはない。シュミレータテストは、3 回分、講習予備検査は、2013 年だけである。データ数は 189 で、63 名が 3 回ずつ受講したデータである (図 23 および表 8)。

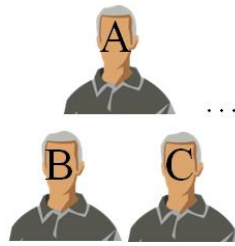


図22. データセット 1

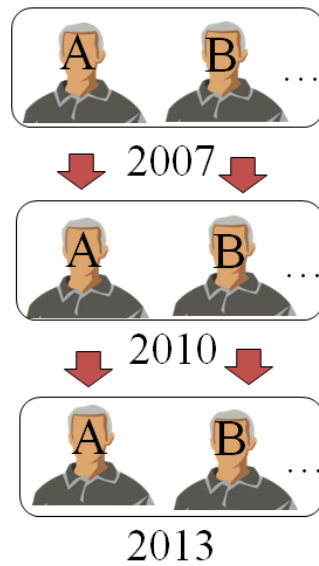


図23. データセット 2

表7. 1 番目のデータセット（データセット 1）First dataset

性別	年齢層					計
	70-75	75-80	80-85	85-90	90-95	
男性	101 (4)	229 (15)	128 (14)	23 (1)	1 (0)	482 (34)
女性	33 (1)	62 (2)	28 (2)	4 (0)	1 (0)	128 (5)
総合	134 (5)	291 (17)	156 (16)	27 (1)	2 (0)	610 (39)
割合	22%	48%	26%	4.0%	0.3%	

()内は、認知症疑い者 (Level 1 and 2).

レベル 1 と認識されたのは、1 名だけ (83 歳の男性).

表8. 2 番目のデータセット（データセット 2） Second dataset

性別	年齢層					計
	70-75	75-80	80-85	85-90	90-95	
男性	0 (0)	26 (2)	16 (3)	5 (0)	1 (0)	48 (5)
女性	0 (0)	7 (0)	7 (0)	1 (0)	0 (0)	15 (0)
総合	0 (0)	33 (2)	23 (3)	6 (0)	1 (0)	63 (5)
割合	0%	52%	37%	10%	1.6%	

()内は、認知症疑い者 (Level 2 のみ)。

3.4 ロジスティック回帰分析を用いた認知症疑い者の分類

ロジスティック回帰分析は、カテゴリカル変数をその他の説明変数を用いて分類するために用いる解析手法である。ロジスティック回帰分析を用いることで、認知症疑いがあるかどうかを、レベル 1, 2 の疑いありとレベル 3 の疑いなしの 2 値を目的変数として推定する。目的変数の生起確率は予め与えられておらず正規分布も仮定されていない。説明変数としては、ドライビングシュミレータでのテストと実地テストでの全てのパラメータに対して最初にステップワイズ法（AIC）で選択し、ロジスティック回帰モデルを構築した。その後、先行研究から危険ドライバーの特徴と関係のあるパラメータを使用した。

ロジスティックモデル（ロジットモデル）は、下記の式で示される。単純なロジスティックモデルは x が入力、 p が確率（出力）、 b_i がパラメータとなる。

$$l = \ln \left(\frac{p}{1-p} \right) = b_0 + b_1 x_1 + \dots + b_n x_n \quad (3.1)$$

$$p = \frac{1}{1 + \exp(-l)} = \frac{1}{1 + \exp(-b_0 - b_1 x_1 - \dots - b_n x_n)} \quad (3.2)$$

ここで、 l は logit ロジット（対数オッズ）、 p は認知症疑い者である確率、 b_0 は定数、 $b_1 \dots b_n$ は偏回帰係数を表す。

このモデルは、危険ドライバーの要素に関連するリスク感知能力と運転に対する姿勢および態度の両方に関係している。運転能力は、通常、年齢とともに少しずつ劣化していく傾向がある。さらに、危険ドライバーの運転に対する姿勢・態度としては、若年ドライバーに見られるスリルを積極的に好む態度や、本人が気づいていない行動主導型の傾向などがある。このような特性をロジスティック回帰分析で分析できると考えた。

3.5 分析の結果

加齢の一般的な傾向である運動能力や認知能力に関する反応時間の拡大や正答率の悪化が観測された。特に、顕著であった複合反応試験を選んだ。その理由は、複数タスクを同時に実行することで難易度が増し、それだけ反応時間や成果率に差が出ると考えたからである。さらに認知症疑いの方が、認知の劣化がどのようにテスト結果に影響が出るかを調べた結果、傾向が現れた。また、不均衡の能力状態に関して、危険ドライバーの要因として Drake[49]が報告している行動主導型についても調べ、その傾向が得られた。

また、肉体的な能力として反応時間を、認知・判断能力として、信号の色に関する反応に関する正答率と壁への衝突回数を調べた。ドライビングシュミレータでのテストで、信号の色を認識する時間を含むアクセル・ブレーキの反応時間は、認知能力の低下とともに通常長くなる傾向にあった。しかし、複数の被験者が、Drake の言及する行動主導型の影響のせいか逆に反応時間が短くなり、そのかわり正答率が上がっていた。

3.5.1 基本統計解析による結果

A. 1 番目のデータセットを使用した結果

免許更新で高齢者講習を受講した被験者の年齢ごとの分布と認知症疑いあり（レベル 1, 2）と判定された人数を表 7 に示す。被験者の分布で一番多かったのは、75-80 歳のグループである。次は 75-80 歳のグループであるが、次の 70-75 歳と人数は大きく変わらない。一方、85 歳以上の方は、極端に少ない。認知症疑いの方と判断された方は、全ての年齢グループで 5-10% であり、この数字は、運転者に限らない一般の高齢者での既存の統計報告 [60] より少ない。これは、運転免許の更新に来るような方は、もともと認知症疑いの方は少なく元気な方が多いからではないかと推測する。

本研究は、ドライビングシュミレータでの選択反応検査、複合反応検査および実地試験での成績データについて、年齢、性別、認知症疑いであるかどうかの観点から分散分析（ANOVA）を実施した。ただし、年齢グループの 90-95 歳は被験者の人数が極端に少ない（1 名のみ）ため解析には使用しなかった。

まず、実地試験では大きな統計上での差異は見つからなかった。この理由としては、何人かのインストラクターによる個人的なスコア付けの差異と、そもそも実地テストでは正解の定義が難しく、インストラクターによる差異や同じインストラクターによっても日によって変わる部分が多少あることも考えられる。また、実地試験といっているが、テストは自動車学校内のコースでの実施であり、コース走行は単純な平易な運転であるので差が出にくいとも考えられる。

一方、ドライビングシュミレータでのテストでは、項目によっては、ANOVA によって統計的優位差がでるものがあった。これは特に、複数作業判断テストで顕著であった。複数作業判断テストはタスクとして複雑であり、より差が出やすいと考えられる。

シミュレータテストでは、統計的差異が MROFR および MRONR で見られた（各計測内容の略称は表 4 を参照）。また、年齢に関して被験者が年齢を増すごとに、反応時間が遅くなる傾向が MROFR と MRONR で顕著に見られた。認知症疑いありかどうかについては、SRONR と MRONR（反応時間）および MRA, SAA, MAA（正答率）で有意差が生じた。さらに、CL（衝突回数）でも有意差が生じた。これらの結果については図 24 から図 27 に示す。

図 25 と図 26 ではドライビングシュミレータでの年齢グループでの反応時間の分布を示している。ただし、69 歳以下の数値は新潟通信機[56]のデータを利用している。

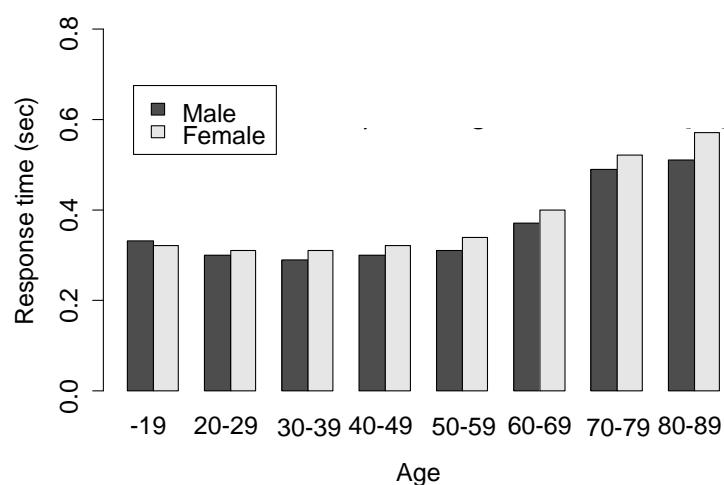


図24. 各年代での選択反応検査(SROFR)

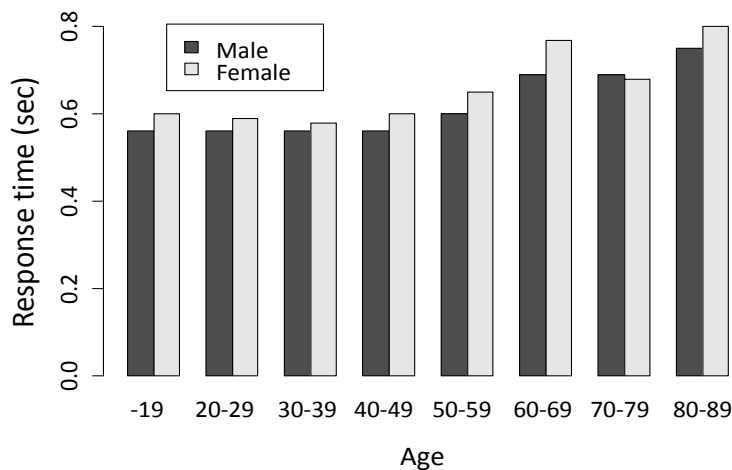


図25. 各年代での複数作業反応検査(MROFR)

年齢グループによる 5%の有意水準での統計分析を行うために、70 歳以上のデータについて解析した分散分析 ANOVA で有意差があったパラメータについて多重分析を行った。その結果、衝突回数、正答率、反応時間のそれぞれについて有意差がでた。図 26 と図 27 の各左側の図 (Boxplot) において中央の太線は分布の中央値を表し、右側の図では分布の平均値を示している。これらの図より、必ずしも正規分布を仮定しない大まかな分布の広がりになっていることを示している。たとえば、図 26 に示すように複数作業反応検査の Red-lift (MROFR) や Red-change (MRONR) などは、年齢が上がるにしたがって特に有意差がでた。また、認知症疑いあり・なしについては、図 27 に示すように複数作業反応検査において衝突回数 (CL) で有意差が生じた。

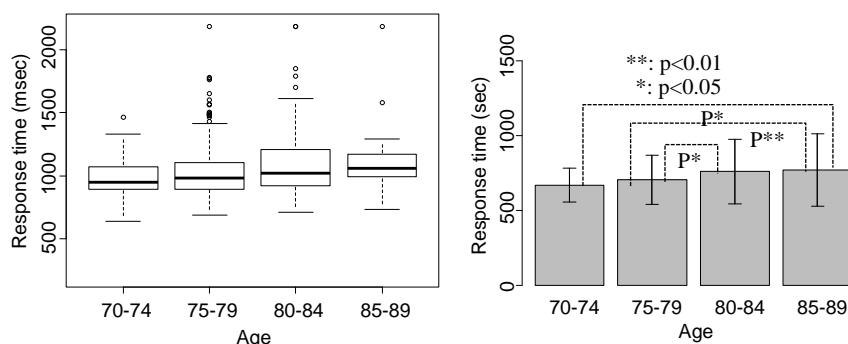


図26. 複数作業反応検査の反応時間の結果 (MROFR)

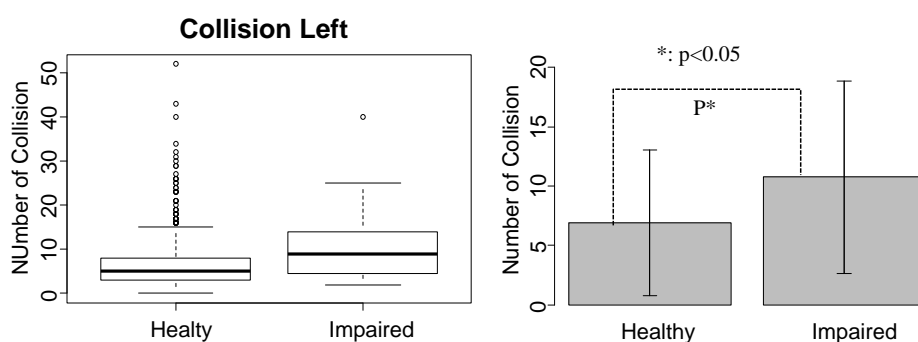


図27. 複数作業反応検査の衝突回数の結果(CL)

複合判断反応検査における性別による違いにおいて、Tukey 法による検定を行い Red-Change (MRA) と Amber-Lift (MAA), および衝突 (CL) において 5%水準で有意差があった。複合反応検査における認知の疑いあり、なしについての違いについては、Tukey

法による検定を行い Red-Change の反応時間 (SRONR/MRONR) と Red-Change (MRA), Amber-Lift (SAA/MAA) の正解率, また, 衝突 (CL) について有意差が生じた. 図 27 では, 左への衝突 (CL) において, 典型的例として示した. この図は認知症疑いあり (Impaired) となし (Healthy) での差異を示したもので, 衝突回数 (CL) での有意差を示した.

B. 2 番目のデータセット

2 番目のデータセットを用いて危険なドライバーを判別することを試みた. 年齢があがっていく 3 回分の試験結果がどのように変化していくかを調べれば, 危険ドライバーの特徴を見つけられるのではないかと考えた.

結果の例として, 3 名のドライバーについて特徴量の変化の大きかった 9 つのパラメータを選択して 3 回分のテストの 1 番目と 3 番目を比較した結果を図 28, 図 29 および図 30 に示す. 選択された特徴量は統計解析の結果より選んだ正答率と反応時間などである. データセットの 1 回目のデータは 2007 年, 3 回目のデータは 2013 年で, 2 回目は 2010 年, 図では, 1 回目と 3 回目の結果を示している. 結果として, 先行研究でも報告されている通り, 人によらず, テストの受講年度が新しくなるに従って (つまり年齢が上がるに連れて) 正答率は下がり, 反応時間が遅くなっていく傾向が見られた. 行動主導型の傾向が見られたことを特筆しておく.

図 28 では, 9 つのパラメータについての全 64 人分のデータの平均を示している. この結果より, 正答率は下がる方向にあり, 反応時間は軽微ではあるが劣化する方向にある. これらは先行研究[29][30][54]で報告されていることを支持している. しかしながら全体の平均を見ると, 変化量自体はそれほど大きくはないことがわかる.

図 29 と図 30 では 2013 年の 3 回目のテストで認知症疑いと判定された 2 名の高齢者 (被験者 22 および 35) のテスト結果である. 2010 年のデータについては, 2007 年と 2013 年の中間の傾向を示していたのでここでは省略している.

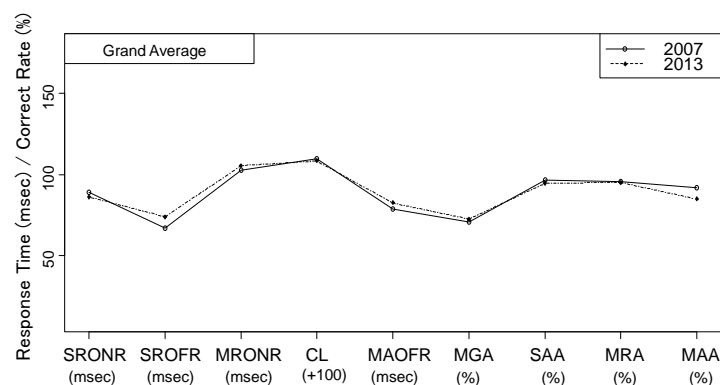
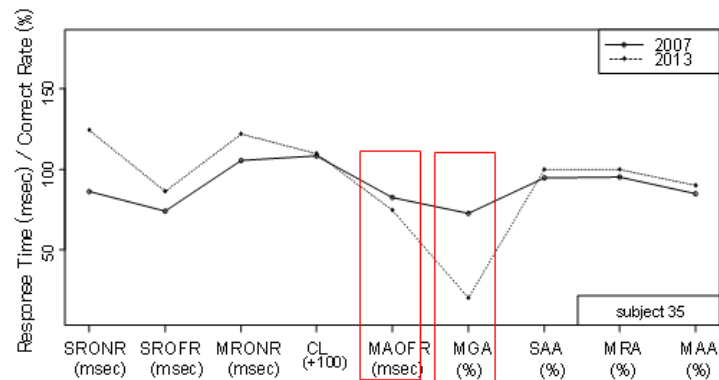
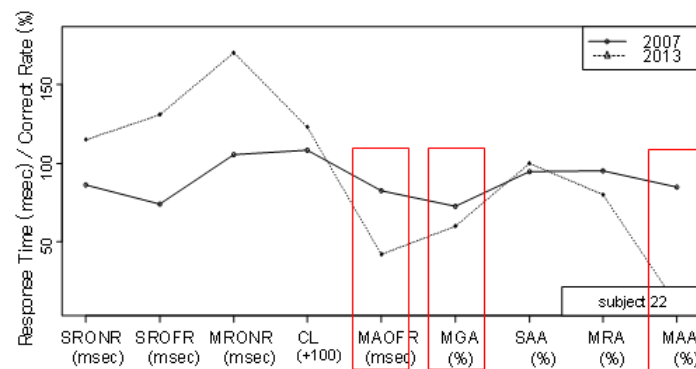


図28. 3 回の試験によるパフォーマンス劣化



*Level : 2, Age:79, Male (2013)

図29. 被験者 35 のパフォーマンス



*Level : 2, Age:81, Male (2013)

図30. 被験者 22 のパフォーマンス

これらの被験者からは、正答率が悪化し、反応時間が遅くなるという認知症疑い者や高齢者の典型的な症例が確認された。さらに図 29 に示すように彼らには、複数行動反応試験での緑の正答率 (MGA) が悪化して、黄色のアクセルオフの反応時間が速くなるという危険ドライバーの要因である行動主導型の傾向も出ていた。

また、複数行動反応試験での緑の正答率 (MGA) が著しく悪化している。信号が緑色に変化したときにドライバーはアクセルを踏み続けねばならないテストなのだが、このドライバーはアクセルを離してしまっている。このようなドライバーは認知能力が低下しているのかもしれない。

図 30 の被験者も図 29 の被験者と同じ特徴を表している。黄色の信号に対する反応時間 (MAOFR) は、2007 年の 1 回目の試験の時より 2013 年の 3 回目の試験のほうが速くなっ

ているが、逆に、黄色の信号に対する正解率（MAA）と緑の信号に対する正解率（MGA）は1回目の時に比べて3回目の時の方がかなり悪化している。これは信号が黄色の時も緑の時もとらずにアクセルを離す動作を行っていると認められ、認知するより先に足が動いてしまう行動先行型の特徴が現れている。

本研究では危険なドライバーの特徴として行動主導型（行動先行型）を仮定している。この意味は何かを正しく認識する適切な時間より先に行動してしまうことを表している。適切な時間とは正しい反応をした（正解率）の高いドライバーの平均反応時間としている。例えば、行動主導型ドライバーは彼らの周囲の感知能力が衰えていることで、後ろから近寄ってきた自転車に対して認知が十分に出来ずにとっさにアクセル操作をしてしまい、その結果として衝突をしてしまうようなことがあるかもしれない。認知能力より運動能力が優れているという特徴は危険ドライバーの証拠として可能性が十分存在している。このような特徴を捉えることで危険ドライバーを判別できる可能性があると考えている。

3.6 ロジスティック回帰分析による認知症疑い者の判別

ロジスティック回帰分析手法の目的変数として認知症疑い者かそれとも認知症の心配は全くない方であるかの2値を定義した。真の正解値としては、認知症疑い者には講習予備検査（認知試験）の結果の判断でレベル1かレベル2であった方とし、全く認知症の疑いの方をレベル3とした2値とした。

説明変数には、変数選択のときによく用いられるステップワイズ法としてAICを用いた。AICによって左の衝突回数（CL）、性別、複数判断反応検査での黄色の正答率（MAA）、選択判断反応検査での黄色の正答率（SAA）、複数判断反応検査での赤色の時のアクセルオフ時の反応時間（MROFR）、選択判断反応検査での緑色の時の正答率（SGA）、選択判断反応検査での赤色のアクセルオン時の反応時間（SRONR）、複数判断反応検査での黄色のアクセルオフ時の反応時間（MAOFR）、複数判断反応検査での赤色の時の正答率（MRA）が、ドライビングシュミレータでのパラメータより抽出され、ドライバーの交差点での挙動であるSIGが実地テストから抽出された。基本統計解析では認知症疑い者を判別するパラメータとしてSIGは選ばれなかったが、AICにおいては選ばれた。

選択したパラメータに対してZスコアを施した後に、認知症疑い者かそうでないかを判別するためのロジスティックモデルを構築した。結果を図31に示す。

認知症疑い者の推定性能である特異度（Sensitivity）と感度（Specificity）の指標の考え方を表9に示す。それぞれ式(3.3)および式(3.4)のように定義される。

表9. 推定性能を示す各指標

		正解	
		False	True
予測	Negative	TN (True Negative) 真陰性率(specificity)(特異度)	FN (False Negative) 偽陰性率
	Positive	FP (False Positive) 偽陽性率	TP (True Positive) 真陽性率(sensitivity)(感度)

$$\text{Sensitivity} = \text{TP}/(\text{TP}+\text{FN}) = \frac{\text{認知症疑い者を推定できた数}}{\text{認知症疑い者の総数}} \quad (3.3)$$

$$\text{Specificity} = \text{TN}/(\text{TN}+\text{FP}) = \frac{\text{健康な方(認知症疑いのない方)を推定できた数}}{\text{健康な方(認知症疑いのない方)の総数}} \quad (3.4)$$

ロジスティック回帰分析による最適解を求めるために、図 31 に示すように ROC (Receiver Operating Characteristic) カーブを書いた。ここで、“the Area Under Curve” の意味は ROC 曲線の下での面積である。この面積が大きいほど、このモデルの性能が高いことを表している。そして、このモデルが 1 に近いほど性能が高いことを表している。結果として、Sensitivity=57.5%、Specificity=86.8%となった。また、ROC カーブの下での面積は 0.786 となった。

次に前節までで求めた認知症疑いがある場合 (Level 1 or 2) とそうでない場合 (Level 3) を見分ける。AIC を使う前に、基本統計処理 (相関の高いものや検定で有意差がでたもの) でパラメータを選んだ。具体的には、反応時間、正解率、そして衝突回数を選んだ。その後、AIC において、相互変数を含めて変数選択した。本研究では、行動先導型反応として、SAA:MAOFR と SAA:MROFR が重要であると考えてこれらの変数を選択した。また、他に重要なパラメータとして SGA、SAA および MAA を AIC により選択した。これらのパラメータは、まさに行動主導型と関係のあるパラメータであり、正答率と反応時間のアンバランス性をみるためのものである。

結果として、危険ドライバーを選択するパラメータには、まず SGA、SAA、MAA、MROFR:CL、SAA:MAA、MRA:MAA、SAA:CR、SAA:CL、SAA:MROFR、SAA:MAOFR、MAOFR:CL および MRA:CR が抽出された。AIC より相互変数として MROFR:CL、SAA:MAA、MRA:MAA、SAA:CR、SAA:CL、SAA:MROFR、SAA:MAOFR、MAOFR:CL and MRA:CR が選択された。

ロジスティック回帰分析はこれらのパラメータを用いて実施された。この結果を図 32 および図 33 に示す。上記のパラメータをさらに加えた結果、図 33 に示すように Sensitivity は 82.5%，Specificity は 66.7%，ROC カーブの下面積は 0.822 であった。

正解率と反応時間のアンバランス性を示す行動主導型の特徴を持つパラメータを入れて認知症疑いを推定したところ、最初のモデルより明らかに性能が向上した。この結果は我々の仮説を支持することを表している。

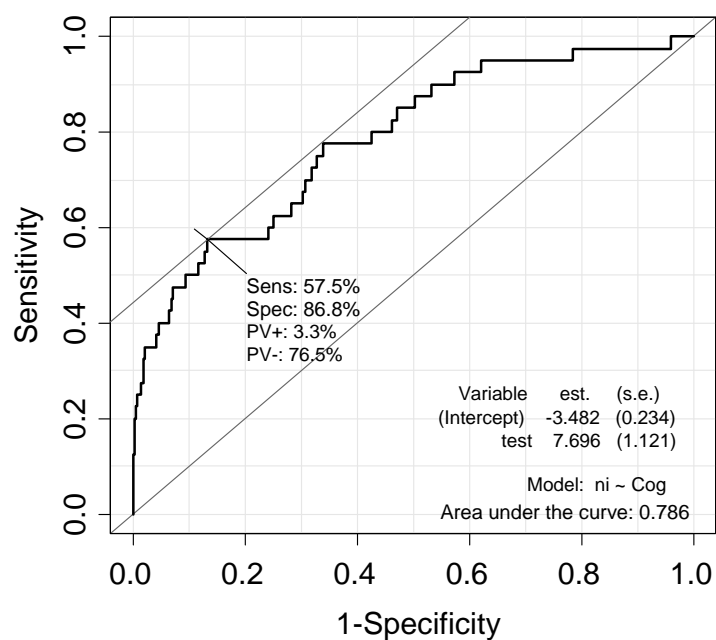


図31. AIC 基準のみによる認知症疑いの推定

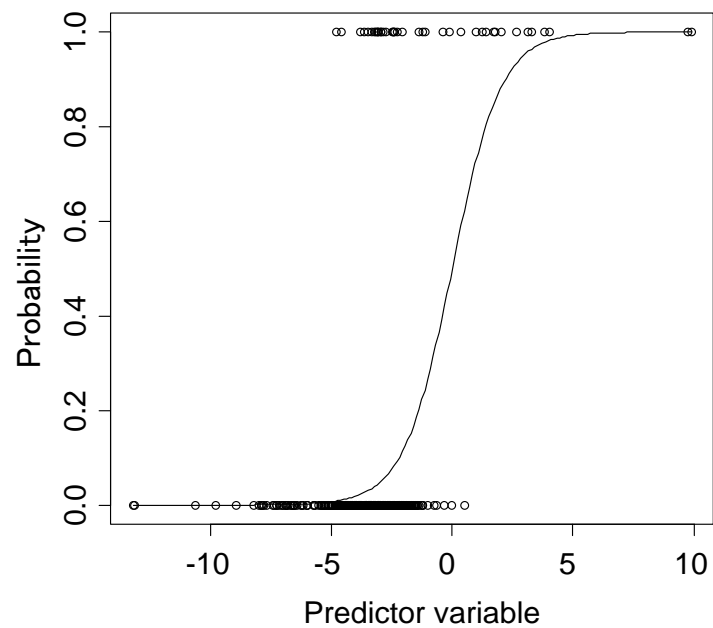


図32. リスクドライバーの特徴を用いた推定結果

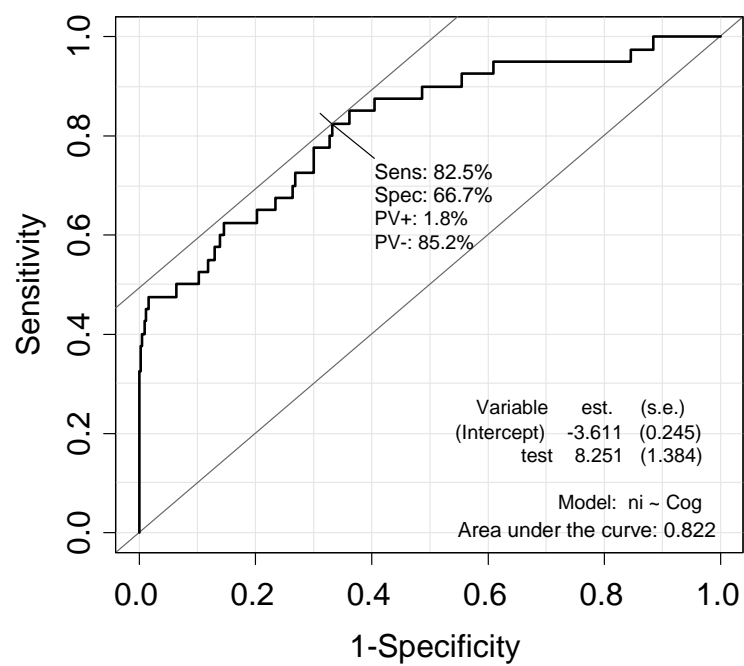


図33. リスクドライバーの特徴を用いた認知症疑い者の推定

分類方法の比較のために、Support Vector machine (SVM) を用いた分類を行った。SVM はマージン最大化と言われる方法で、2 クラスを分類する。説明変数はロジスティック解析による分類で最終的に利用した変数と全く同じものを用いた。kernel 関数は多項式カーネルを用いた。

SVM による結果を図 34 に示す。Sensitivity は 55.0%，Specificity は 75.7%，ROC カーブの下面積は 0.677 であった。結果として、SVM による分類ではロジスティック関数を用いた分類よりも性能が低い結果となった。カーネル関数をたとえばガウシアンカーネルなどに変更すると数値自体はよくなる場合があるが、SVM は過学習が起りやすいので利用には注意が必要である。

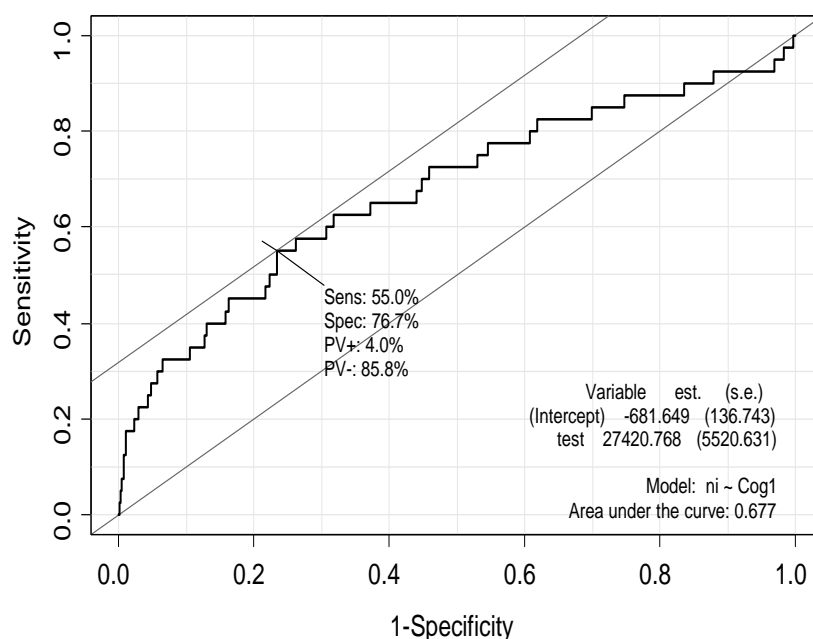


図34. SVM を用いた認知症疑い者の推定

3.7 考察

危険ドライバーの評価は高齢者ドライバーが関わる交通事故を減らすために重要となってくる。認知症疑いのある方は事故を起こす可能性が高く、危険であることが知られており、早めに発見することが必要である。先行研究では、アルツハイマー症と診断されたものであっても運転を続けている高齢者は多数おり、高い危険性をはらんでいるが、生活のためや近所への買い物等の理由のため、運転をやめることに躊躇しているとのことである。AD と診断された方々には、運転の継続をやめさせることも必要としている[32]。

しかし、その一方で、それとは反対に、Drachman[33]や O'Neill[34]の先行研究によると、運転継続の可否の判断は、アルツハイマー症などの医学的判断よりも、むしろ、運転能力そのものから直接判断する必要があるとしている。Fox[31]は、実車で走行実験で、アルツハイマー患者の 63.2%が不合格となったものの、逆に 36.8%が安全に運転でき合格になったことを示している。

本研究での調査でも認知症疑いがあったとしても安全に運転できるだけの能力はまだ備わっており、実際に彼らの中にはドライビングシュミレータでのテストや実地でのテストでは、全く問題ない結果を得ているものもいる。これらの結果は先行研究[31]での結果を支持するものである。

これらの結果より、アルツハイマー患者であっても、普通に運転できる能力は十分に有しているものがあることがわかる。(しかし、通常では、認知症の方が通常の健康の人より事故を起こす可能性が高いこともまた否定できない。)

本研究では、運転能力の変化を計測するために、高齢者講習データの追跡調査を行った。つまり同じ高齢者が3年ごとに3回分受けたデータについてテスト結果の差異を調査した。その評価の結果、危険ドライバーの特徴である行動主導型の傾向(認知能力よりも運動能力が勝っているような能力のアンバランス状態)が主要因のひとつになっていた可能性が示唆された。高齢者の運転免許更新時に義務付けられている高齢者講習時のテストデータの分析によって危険ドライバーを抽出できないかを試みた。この方法は、高齢者予備検査や医者による診断を必要なしに、認知症疑い者をスクリーニングできるので大変有効であり、さらに危険ドライバーの識別にも効果があるのはとても有益である。

また、このテストの解析を実施する前は、我々は、認知症疑い者を判別するには、ドライビングシュミレータの実験よりも、より実践に近い実地試験でのパラメータのほうに関連するのではと推測していた。しかし、実際にはその逆で、実地テストよりもドライビングシュミレータでの違いの方が大きく出た。実地テストで関係していたのは、SIG(信号のある交差点での挙動)のみであった。実地テストが差し迫った危険な状態などを課することができず、比較的ゆったりとした運転であるので、認知症疑い者であっても、実地テストでその違いが出にくかったと思われる。その他の理由として考えられるのが、複数のインストラクターがそれぞれ担当する高齢者に対して別々に評価を実施したためと考えられる。そのため、インストラクターによって変わらない安定した定量的評価が必要であると考えている。

3.8 結論

本研究では、高齢者ドライバーによる交通事故を減らすために、高齢者ドライバーの運転能力の解析を実施し見つけだすことを目的とした。高齢者の交通事故を減らすための研究は近年盛んに行われている。先行研究では、危険ドライバーの傾向として運転時の危険の感知能力と運転に対する態度・姿勢の2つの要因をあげている。本研究では、上記の両

方の要因について検討を行った。そして、危険ドライバーを高齢者のテストデータを解析することによって、危険ドライバーを判別する方法について検討した。

高齢者講習データを集めた大規模データから危険ドライバーを判別することを試みた。70 歳以上の高齢者が免許更新時に義務付けられている高齢者講習（ドライビングシュミレータや実地試験、認知試験）のテスト結果（反応時間、正確性、衝突回数など）を解析することで危険ドライバーの兆候がわかるのではないかと考えた。その結果、認知症疑いのある方の特徴と同時に危険ドライバーの特徴もあることがわかった。

そして、講習データに対してロジスティック回帰分析を実施し、高齢者講習データより認知症疑いの方をある程度判別できることを確認した。その判別精度は 82.5%であった。判別には、正確性を欠いた行動主導型の反応を示すパラメータなどを用いたことで認知症疑い者の判別精度が上がった。このことから認知症疑い者の特徴として正確性を欠いた行動主導型の特徴を持つことが明らかになり、全ての認知症疑い者ではなくこの特徴を持つドライバーのみが危険ドライバーであると判別できる可能性を示唆できた。

本研究の高齢者講習向けのテストを用いた危険ドライバーの評価方法と予測方法を利用すれば、もう少し若い年代、たとえば認知能力が衰え始める 60 歳程度のドライバーに対しても同様に判定することができ、危険ドライバーを見つけることができる可能性を示唆できた。

第4章 高齢者のサポート技術（指差し呼称） の提案

高齢者ドライバーの特性としては、身体的特性、心理的特性、運転的特性、社会的特性、があると報告されている[3]。身体的特性としては、視力や聴力の低下や反応動作のむら等が指摘されている。心理的特性としては、複雑な情報を同時に処理することが苦手になることや注意力配分や集中力の低下が挙げられている。また運転的特性は、慣れによる“だろろ運転”や過去（若い時）の経験にとらわれやすい傾向がある事が指摘されている。社会的特性としては、コミュニケーション能力の低下等が指摘されている[11][61]。本研究では、このような高齢者ドライバーの特性の中で心理的特性に着目し、交通事故に関連が深い、注意力、集中力を改善させる方法について検討したので報告する。

交通事故の原因として、事故の40%に関連するとされるヒューマンエラーは、人の意識フェーズに関係することが知られている[62][63]。大脳生理学の研究で明らかにされた人間の意識フェーズとエラーの発生率の関係は“フェーズ理論”とされ、表10のように示されている。意識フェーズは、注意力のレベルと関連すると考えられる。フェーズ0は、無意識状態でエラー発生率は1.0、つまり100%である。フェーズⅢの正常状態では、エラー発生率はかなり低くなる。意識ぼけのフェーズⅠや興奮状態のフェーズⅣではエラー発生率は0.1以上と増える。常にフェーズⅢの状態で留まることは難しく、他のフェーズを行き来する。特に、身体的、心理的特性が低下している高齢者ではその傾向が強くなることが容易に予想される。意識レベルと注意力には関係があり、意識レベルを何らかの方法で高めることで、注意力を高め事故軽減につながると考えた。

すなわち、今後の安全運転支援としては、ドライバー自らが安全運転への意識をさらに高めるようなドライバーが主体となる支援が必要であると考えられる。そこで本研究では、運転中のドライバーのヒューマンエラー低減手法として、「指差し呼称確認」に着目する。指差し呼称を運転中のドライバーが行うことで、注意力や集中力が恒常的に保てるのでないかと考えた。先行研究においても指差し呼称がヒューマンエラー低減につながるとする効果検証を行ったものが多くある[65][66][67][68]。

また、自動車運転時の注意力や覚醒度の客観指標として用いられる生体信号として、脳血流や心電図が挙げられる[69][70][71]。本研究では、これらを利用し、指差し呼称運転が生体信号にどのような影響を与え、運転中のドライバーにどのような効果をもたらすのか評価する。

表10. 安全人間工学のフェーズ理論（意識レベルとエラー率の関係）

フェーズ	意識のモード	生理的状态	主要な脳波種類と周波数	エラー発生率
0	無意識 失神	睡眠	デルタ波 (0.5-4Hz)	1.0
I	意識ぼけ	疲労 居眠り	シータ波 (5-7Hz)	0.1 以上
II	正常 リラックス状態	休息時 定例作業時	アルファ波 (8-13Hz)	0.01~0.00001
III	正常 明晰状態	積極活動時	ベータ波 (14-30Hz)	0.000001 以下
IV	興奮状態	慌てている時 パニック時	ガンマ波 (30-Hz)	0.1 以上

4.1 ヒューマンエラーによる交通事故の現状

交通事故の要因は大きく分けて「環境要因」、「主体要因」、「車両要因」の3つであるといわれている。「環境要因」とは、天候や道路状況等、「主体要因」とは、運転者自身の心身状態や規則を守る意識、危険予知能力等、「車両要因」とは、車両の特性や安全機能、欠陥や整備状態等が要因となって起こる事故のことである[72]。この「主体要因」とは、ドライバーが起因となって起こる事故であることから、主にドライバーのヒューマンエラーによる事故を指している。

また、米国運輸省道路交通安全局(NHTSA: National Highway Traffic Safety Administration)の交通事故原因に関する詳細な調査によれば、交通事故原因のうち、環境要因が5.4%、車両要因が0.5%、主体要因（ヒューマンエラー）が99.2%を占めると報告されている（各要因が複合的に絡み合うため100%を超える）[73]。このように、ドライバー起因の事故が交通事故のかなりの割合を占めていることから、ドライバーのヒューマンエラーを減らすための何らかの対策が求められている。

また、ドライバーは様々な種類のエラーを様々なタイミングで犯している。運転中にドライバーは認知、判断、操作を繰り返している。ここで、認知とは、安全をはかるために、

周囲の交通状況における危険や異常等の必要な情報を認識するということである。判断とは、認知した対象がどのような行動をするのか、自分はどのような行動をすべきか決定することである。操作とは、判断に従ってステアリングやアクセルやブレーキ操作を行うことである。すなわち、これら一連の運転行動は最初の認知がしっかりできなければ、それに続く判断や操作も当然正しく行うことができない。また、不適切な認知や判断を行った場合もその後の操作に影響し、エラーにつながるといえる[74]。

さらに、交通事故で最も多いのは、ドライバーによる認知ミスであり、全体の約7割を占めていることも知られている[75]。財団法人交通事故総合分析センターの調査によると、具体的に認知ミスをした対象で最も多いのは、交差点で横の道にいる車両または人の見落としで、これは出会い頭事故につながるミスであるといえる。次に多いものは、右折時の対向車両の見落としで、これは右直事故につながるミスであるといえる。また、ミスを犯すに至った要因については、「ぼんやり」や「思い込み」が多いと報告されている[76]。このように、正しく認知できていない、もしくはそもそも認知していないことが要因となっているケースが多くあるといえる。

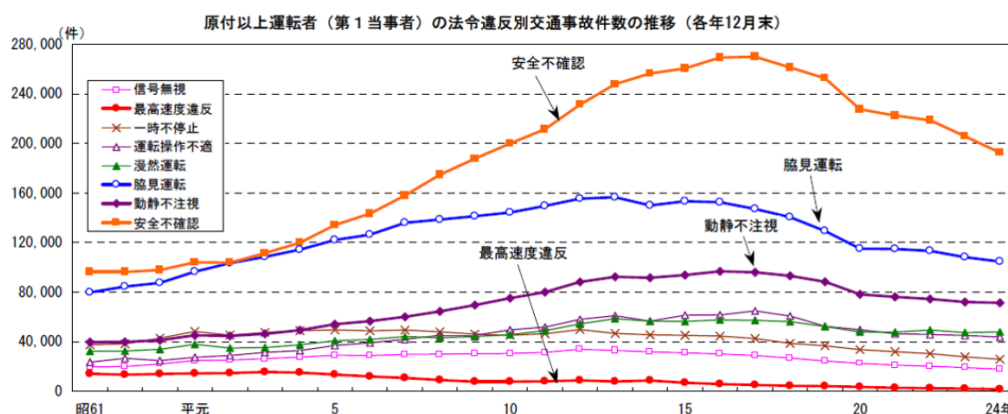


図35. 法令違反別交通事故件数の推移[77]

次に、図35に法令違反別の交通事故件数[77]の推移を示す。また、図36に平成24年度の法令違反別交通事故件数の割合を示したグラフを示す。ここからもわかる通り、安全不確認や脇見運転、漫然運転といった安全運転義務違反による事故が全体の約半数以上を占めていると言える。また、これら安全運転義務違反による事故の割合は年々増加傾向にあることも分かっている[78]。このデータからも、ドライバーが運転中の注意力や集中力が欠如していることが関連している事故が多いといえる。

そのため、ドライバー自身の運転ミスによる事故を減らす必要があり、その中でも特にヒューマンエラーの低減が重要なキーワードであることが様々な統計データ等から示唆される。

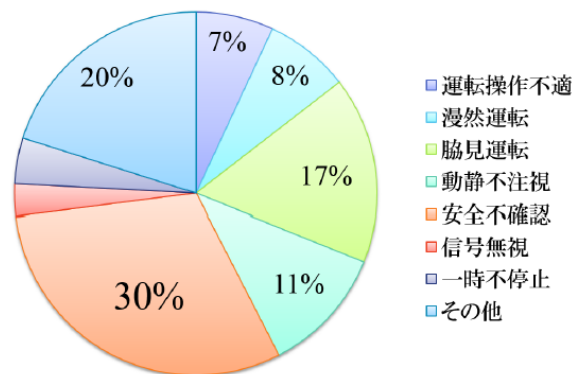


図36. 平成 24 年度法令違反別交通事故件数の割合

4.2 事故低減のための自動車安全技術

現在はこのようなドライバーのミスによる事故を低減することを目的とした多くの自動車安全技術が開発・普及されている。ドライバーのヒューマンエラーの低減をはかるため、現在普及している安全技術について代表的なものを以下に記述する。

A. ナイトビューシステム

ナイトビューは、近赤外線を前方に照射し、夜間見えにくい前方の歩行者、道路状況などを近赤外線カメラで撮影し、ディスプレイに表示し、肉眼では見えにくいものを可視化することで、夜間走行時の周辺情報の認知を支援するシステムである。

B. マルチアングル全周囲モニタ

マルチアングル全周囲モニタは、フロント、リヤ、左右のミラーに装着したカメラが映し出す4つの映像を高速で合成処理することで、上空から車両を見下ろすような映像で車両周辺状況を確認できるシステムである。これにより、車両の死角領域も確認することができるため、駐車時や見通しの悪い交差点等の認知を支援することが可能である。

C. レーダークルーズコントロール

レーダークルーズコントロールは、レーダーにより先行車と走行レーンを認識・判断し、あらかじめ設定した速度内で車間距離を保ちながら追従走行するシステムである。高速道路走行時や渋滞時におけるドライバーの運転ストレス低減が図れる。

D. レーンキーピングアシスト

レーンキーピングアシストは、カメラで前方映像を撮影し、画像処理を施すことで白線検知することにより、車線に合わせたステアリング制御でドライバーの車線内走行を支援

するシステムである。車線逸脱による事故を防ぐため、走行中の車線からはみ出しそうなとき、警報ブザーなどによってドライバーに注意を与え、レーダークルーズコントロール作動時にドライバーのステアリング操作をサポートし、車線に沿った走行の支援を行う。

E. プリクラッシュセーフティ

プリクラッシュセーフティは、ミリ波レーザセンサにより前方車輛や障害物との衝突を予測し、衝突前にシートベルトの巻き取りやブレーキ制御を行うことで、衝突時の衝撃を軽減するシステムである。

4.3 ドライバー主体の安全運転支援

安全運転の最も基本であり、かつ重要であるのはやはりドライバーである。まず、ドライバーが絶えず変化する道路環境を適切に認知し、その上で適切な判断、操作しなければならない。そのためには、ドライバー自身の安全意識が恒常的に保たれていることが必須である。

4.2 節で示した様々な自動車安全技術もちろんヒューマンエラーによる事故を低減する上で大きな役割を果たしている。実際それらが普及したことで、近年大幅に交通事故が減っているといえる。これまでのこうした技術のほとんどは、車両側がドライバーの運転を支援するものや、ドライバーの代わりとなり、ドライバーが犯しがちなミスをフォローし、支援するものであった。しかし、こうした技術が普及することで、このような車両側の技術を過信してしまうこと、また、ドライバーの運転負担が低減されるために、自身の安全意識や運転中の注意力や集中力が低下するといった状況が懸念される。

多くの安全技術が普及する中でもやはり、ドライバー自身が安全運転を心がける意識が重要となり、そのためには、自らの目、耳、頭を使い、身をもって安全確認を行うことにより、それが実現できるのではないかと考えられる。

こうした、自主的な安全確認を運転中のドライバーに提案する中で、本研究では、その一例として、「指差し呼称運転」、さらには「指差し呼称想起運転」に着目する。

ドライバーの注意力を高めるための従来技術としては、音声や表示を用いるもの[79]や、最近では、特殊な香り（ペパーミント等）で覚醒効果を促すもの[80]等がある。音声や表示を用いる方法は、例えば、意識レベルが下がった場合に、ドライバーに休憩を促す音声ガイドや警告音で知らせ、表示では、カーナビ画面などを使用して、危険状態をグラフィカルに示し注意を促す方法である。香りを用いる方法は、覚醒効果が高いとされるペパーミント系の香りを、覚醒を促したい時点でドライバーに吹きかけ覚醒させる方法である。

しかし、これらの方法は、覚醒レベルが下がったことを確実に検知しないと間違った警告や表示をすることになり、ドライバーを却って危険な状態にしたり、ドライバーに対して煩わしいものにしたりする可能性があった。これらの方法はまだ実用化できていない。

検知の必要性が必須ではない“予防的な方法”として、例えば人間の視覚系による自己運動感覚（ベクシオン）を利用した方法が研究され、一部実用化もされている[81][82]。ベクシオンは、人間の感覚を利用した興味深い方法で、道路脇に設置した発光体の光の流れる速度を制御することでドライバーの速度感覚によりその速度に合わせようとする無意識の心理が働く。例えば、長い下り坂での速度出し過ぎ防止等を行える。しかし、この方法は、道路に光装置を埋め込む必要がある等、インフラへの実装が必要で大掛かりなものとなり設置に時間がかかる課題がある。

本研究では、検知の必要性がなく、かつ実装が比較的平易である方法で、高齢者ドライバーの注意力を向上させることが出来る方法について検討した。

4.4 ヒューマンエラー防止手法としての指差し呼称

覚醒レベルが下がったことを検知して対応するのではなく、現在の意識レベルには関係なくリスクが予想される地点近くで常に意識レベルを向上させる“予防的な方法”を用いることで、リスクを軽減させることが出来ると考えた。高齢者ドライバーが持続的に意識レベルを向上させる方法として、“指差し呼称”を用いる方法を提案する。指差し呼称法は、日本独自の安全確認方法で、ヒューマンエラーを防ぐために広く産業現場で用いられている。

財団法人鉄道総合技術研究所の鉄道技術用語辞典[83]によれば、指差呼称とは、「確認や操作を行う対象を指差し、対象の状態や実行しようとする操作内容を発声する確認方法。対象や記憶の明瞭化、視覚、聴覚などの複数の感覚による多重チェック、脳の覚醒、焦燥反応防止効果などにより、信号・標識の誤認や機器・装置の取り扱い誤りを防止する効果がある。もともとは鉄道創業時に現場職員の間で自然発生したものが、鉄道で一般化し、中央労働災害防止協会のゼロ災害全員参加運動の一環として、鉄道会社以外にも浸透したもの。」とされている。

指差し呼称の具体的な実施方法としては、注意すべき対象をまず目で見て、しっかりと目視確認を行う。さらに、腕を伸ばして、確認対象を指で差し、口を開いて「〇〇〇、よし！」と発声し、自分の声を自分の耳で聞くという一連の複合確認動作である。

4.4.1 指差し呼称の効果

表 10 に示したフェーズ理論によると、一般的にフェーズⅢが最も信頼性が高いため、このフェーズで重要な操作や確認を行うことが望まれる。また、フェーズⅡでは注意が広く浅く配分されており、新しい刺激が発生したり、何か変化が生じたりしたときに、そこに注意を向ける態勢にある。一方、フェーズⅢでは、注意を向ける対象を主体的に選択し、注意の方向を積極的にコントロールしている状態であると言える。すなわち、フェーズⅡでは、外からの呼びかけに応える形で受動的に注意が方向づけられ、フェーズⅢでは、自らが能動的に注意の対象を次々と切り替えていくことができる。

指差し呼称は、フェーズⅡからⅢにシフトアップし、操作・確認の対象に注意を能動的に方向づける非常に有効な手段であると言われている[84].

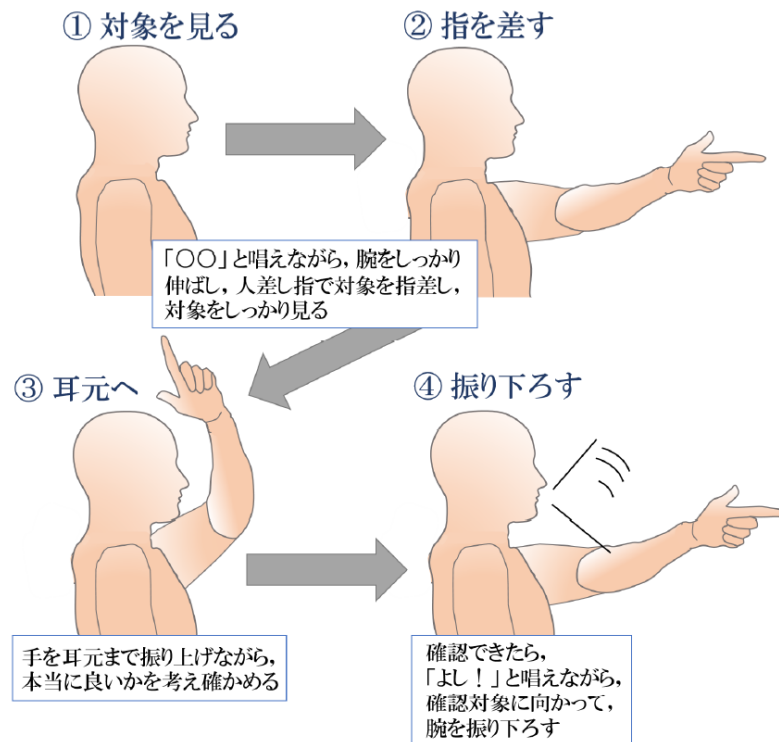


図37. 指差し呼称の実施方法[85]

また、指差し呼称がヒューマンエラー防止に役立つ理由と関連して、指差し呼称における以下の5つの効果が挙げられている。

A. 指差しの視線停留効果

指差しは、自己を対象に近づけ、刺激を正確かつ鮮明に網膜に伝える[86]. 指差しによって意識が自分の外に向けられるため、自らと外界を結びつけ、正確に対象を認知することができる[87].

B. 呼称の記憶強化効果

呼称は、名称を思い出して言うため意識を対象に集中させ記憶の形成を助ける[86].

C. 呼称のエラー気づきの効果

指差しと呼称の併用は、視覚・聴覚などの動員により認知の精度が高まる[86]. 指差しと呼称を同時に行うことで、人間の様々な感覚を総動員して、チェックすることができる。腕と指で対象を指し、指差したものを目で見て、見たものを口に出して言い、さらに言った言葉を自分の耳で聞く。腕、指、口、目の筋肉を動かす運動神経への指令と視覚・聴覚

情報には様々な脳の領域が関与している。指差し呼称は、目と耳と口、筋肉で確認することで、目だけ、耳だけの確認よりも精度を上げる効果がある[84]。

D. 指差し呼称の覚醒効果

顎や手や腕の筋肉運動が刺激となって脳の活動レベルが上がる[86]。指差し呼称に伴う、口や腕、手の運動には脳の覚醒レベルを上げる働きがあると言われている。特に、発声に伴う咬筋（アゴの筋肉）の運動は脳全体の覚醒レベルを司る「脳幹網様体」とよばれる部位に直接信号を送ると言われている[84]。同様に、腕の筋肉の中の筋紡錘という細胞は、脳の働きを活発にするとされている[88]。このように、脳の運動領域や筋知覚領域、言語領域、視知覚領域が一斉に活動する[87]。あまり身体を動かさないような単純動作（作業）の場合、眠気を催したり、頭がぼんやりしたりしやすいが、指差し呼称によって身体と脳を適宜、リフレッシュすることが可能であると考えられている。

E. 指差による反応遅延のエラー抑制効果

刺激の知覚と反応の間に指差し呼称をはさむことで、焦燥反応や「習慣的動作のエラー」を防止する効果があると言われている。ここでいう焦燥反応とは、焦りや慌て、先急ぎの気持ちから、きちんと認知・判断をする前に動作・操作をしてしまうエラー、習慣的動作のエラーとは、特定の刺激をきっかけにしていつも同じ反応をしていると、いつもとは違う反応をしなければならないときにも、身体がいつもと同じように動いてしまうエラーである。

刺激（何か動作をするきっかけ）が現れてもすぐに反応せずに、指差し呼称を行ってから、操作することで、刺激と反応の間にタイムラグが生じ、条件反射的結びつきを断ち切ることができる[84]。

4.4.2 指差し呼称の活用

指差し呼称は元々、旧日本国有鉄道（現在の JR : Japan Railroad）の運転士が信号確認を行う際に安全に行うことを目的として始まった手法であるが、操作ミスなど労働災害の発生確率を下げようとする試みで、既に列車、バスなどで実践的にその効果が立証されている。

鉄道では、運転士や車掌、駅務員が指差し呼称を行っている場面をよく目にする。例えば、車掌の場合「反応灯よし!」、「乗降よし!」等、運転士であれば「出発進行!」等と指で差し示し、発声しながら安全確認を行っている。民営鉄道協会では指差し呼称により安全確認を行うことを駅務、乗務、または鉄道施設の保守・管理を担当する者に徹底的に訓練し、身につけさせている[83]。

医療現場（薬の処方、与薬、検査、治療等）において、重要かつ多くの確認作業が求められている。しかし、それらの確認作業を怠ることにより起こるミスが後を立たず、様々な作業時に指差し呼称を導入することが推進されている。

プラント作業現場では、そこで働く作業員が、操作・動作の前、または後に、操作するスイッチや確認すべき表示あるいは方向を指差し、その名称や状態を発声することで安全に操作を行うことを目的としている。

行政機関では、その一例として、富山県、富山県高圧ガス安全協会における取り組みを紹介する。富山県、富山県高圧ガス安全協会では、日々の安全活動への取り組みとして、安全で快適な職場の確保や事故の未然防止を図るために様々な活動を推進している。その中の1つに指差し呼称による安全確認がある。その活動事例は以下の通りである[85]。

A. 指差し呼称推進員の選任

指差し呼称推進員を選任し、指差し呼称の徹底のため教育指導を行い、自ら率先して指差し呼称を実践するとともに、従業員に対して正しい指差し呼称の指導、評価を行っている。

B. 横断歩道における指差し呼称

工場内で通行が多い横断歩道を「重点箇所」として定め、その箇所において、指差し呼称が確実にに行われているかどうかを推進員がその場に立って確認し、指導を行う。具体的には、従業員が歩道を横断する際に「右ヨシ!」、「左ヨシ!」、「右ヨシ!」と目、指、声で確認して渡っているかどうかをチェックする。

C. 職場の重要箇所における指差し呼称の徹底

職場に指差し呼称の重点箇所を定め、日常の作業で指差し呼称を徹底させる。特に正しい操作が求められる箇所（バルブの閉止確認、ヨシ!）、特に確認が必要な場所（圧力計〇MPa 確認、ヨシ!）を重点箇所として定め、徹底し実践する。また、職場の従業員同士で正しく行っているか確認や指摘することにより、「指差し呼称をやるのが当たり前」という雰囲気職場に浸透させることも目的とする。

D. 指差し呼称の評価と意識向上

指差し呼称の実施状況を採点し、従業員の意識向上を図る。

このように公になっている取り組みだけを見ても、様々な現場で活用されていることがわかる。指差し呼称による安全確認が職務内で義務化されている例も多くあり、指差し呼称がヒューマンエラー防止につながると広く浸透している様子が伺える。また、公にされていないが、これら以外にも様々な現場で取り入れられている例や、個人的に実生活に取り入れている例も多くあると思われる。

これらから考えても、指差し呼称による安全確認が様々な場面で有効であり、今後更に広く活用されることが期待できるだろう。また、4.4 節にある通り、指差し呼称には様々な効果があり、ヒューマンエラー防止につながるとされているが、それらを更に追及し、実験的検証を行っていくことが指差し呼称の更なる解明や発展につながるのではないかと考えられる。

4.4.3 指差し呼称に関する先行研究

指差し呼称に関して、これまでにいくつかの研究がされている。その一例を以下に列挙する。

川田らは確認作業に「指差し呼称」法を用いた時の前頭葉局所血流変動を調査した[89]。この研究では、指差し呼称のエラー防止効果検証として、与薬準備段階の確認作業をモデル化し、前頭葉の血中酸素化ヘモグロビン濃度変化量を近赤外分光法によって計測し、他の手法（指差しのみ、呼称のみ、黙読）と比較した。このとき、指差し呼称時のヘモグロビン濃度変化量が最大であり、特に、前頭葉前部の左右両側の変動が大きかった。また、呼称時にも指差し呼称時と似たような脳血流変化傾向が見られた。尚、この研究においては、前頭葉の血中酸素化ヘモグロビン濃度変化量により評価を行った。

篠原らは指差喚呼が視覚的注意の定位に及ぼす影響を調査した[90]。この研究では、空間手がかり法を用いて、指差し呼称が視覚的注意の定位にどのような影響を与えるかを検証し、指差し呼称によって注意すべき位置に、より注意が定位されることを示した。また、指差し呼称を行うことで、自覚疲労の評価がより低くなり、覚醒や集中の維持にもつながることを示した。この研究においては、反応時間の速さと自覚疲労の主観により評価を行った。

芳賀らは指差しが眼球運動に及ぼす効果、とくに指差呼称によるエラー防止効果のメカニズムの検証を行った[91]。この研究では、指差しにより注意を能動的に確認対象に向けられるかどうかを検証し、指差しにより、視線が確認対象により確実に到達し、視線が長くその対象に留まることを示した。この研究においては、視線停留時間と対象物への視線到達回数により評価を行った。

高橋らは指差呼称が記憶成績に及ぼす効果を調査した[92]。この研究では、指差し呼称が操作内容を記憶する際の効果について検証し、指差し呼称を行うことで生じるエラーの割合が低下することを示した。この研究においては、課題に対する誤答率により評価を行った。

以上に示した先行研究では、指差し呼称による効果として、川田らと芳賀は、生体信号（脳血流変化や視覚情報）を用いて評価されているが、これまでは主として、課題反応時間やエラー率で評価されているものが多い。これらのような反応時間やエラー率といった人間の動作そのものに与える影響で評価したものは、指差し呼称によって反応時間の短縮化やエラー率の低下というように妥当な結果が得られることが既に多く検証されていると言えるだろう。このように、結果的にヒューマンエラーが低減できるということは、その過程で人間の生体信号そのものに何らかの影響を及ぼしているためであると考えられる。指差し呼称によって人間の生体そのものに様々な効果を及ぼすことで、ヒューマンエラーにつながるとされている。

しかし、この指差し呼称は列車やバスの運行などで経験的に効果があることが確認されながら、一般のクルマの運転や他の用途に適用し効果を定量的に評価した報告例は少ない。

クルマ以外では、例えば、事故頻度が多い与薬の確認作業時に「指差し呼称」を行ったときの前頭頭の血流変化を計測する先行研究がある[89][93]。紙に書いた処方箋指示書の確認の際に、単に黙読するだけの場合に比べて、指差し呼称を行った場合は前頭頭の賦活から認知機能の活性化が見られ「指差し呼称」法が、医療事故予防に繋がる有効性の高い方法であると結論づけている。

また、これまでに指差し呼称を生体信号で評価した例は少なく、未だ解明されていないことも多くある。本研究では、特にその中でも指差し呼称が人間の脳活動に与える影響を検証する。指差し呼称によって脳の覚醒効果があるといわれているが、具体的に指差し呼称を実施することでどのように脳活動が変化するか脳血流動態変化を調べることで検証する。同時に、本研究では、この指差し呼称を運転中に適用することを目的としているため、反応時間やエラー率での評価が困難である点を考えると、やはり生体信号に与える影響を調べるのが先決であると考えられる。

4.5 評価方法

本研究では、指差し呼称の高齢者ドライバーへの適用を前提に、一般のクルマ運転時の注意力への影響を検証した。あらかじめリスクが想定される場所(速度制限や一時停止等)で指差し呼称を常に実施することで、注意力の低下を事前に検知せずに確実に注意力を維持できると考えている。

またドライバー主体の方法なので実施が簡単で注意力向上方法として望ましい。指差し呼称の効果の確認を、主観評価指標として、①VAS (Visual Analog Scale) を、客観評価指標として、②自律神経活動、③NIRS (Near-infrared spectroscopy) による脳活動評価、を行って、3点から多角的に検証を行った。特に、脳の高次機能である注意力について、NIRSによる前頭葉の脳活動状態(脳血流変化)を詳しく調査した。

また、指差し呼称は、目視確認、指差し、呼称、自身の声の確認、の複合動作であり、このアクションのどの部分に特に効果があるのかを分析することも重要であると考えた。本論文では、指差し呼称の効果は高齢者だけでなく、若年者でもレベルの差はあれ同様の変化があると考えられるので、被験者の集まりやすい若年者での確認検証をまずは行うこととした。

4.5.1 VAS (Visual Analog Scale)

VAS は、主観的覚醒水準を示す指標として、先行研究でよく用いられる方法である[94]。黒い線で左端が「注意力が低い(全くない)」、右端が「注意力が高い(想像できる最高の注意力)」と説明して被験者に見せ、現在の注意力がどの程度かを申告してもらう方法である(図 38)。(Scale 0~100 までの目盛りでどの程度かを線上に記入してもらう)。

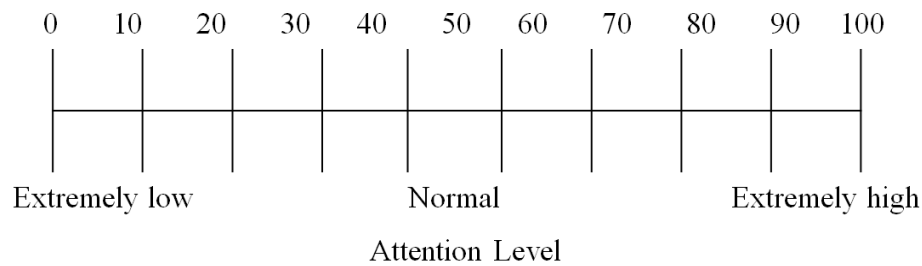


図38. VAS (Visual Analog Scale)

4.5.2 自律神経活動

客観評価指標として、人間の生理的・心理的側面から心拍による自律神経活動計測を計測する方法を用いた。具体的には、脈拍センサを耳に取り付け、心拍数の変化における心拍間隔の揺らぎの解析を行い、自律神経活動を推定し注意力の尺度とした。自律神経活動指標については、周波数解析を用いたよく知られている方法を利用した[95]。脈拍センサは、心臓の拍動に応じて変化する血管の血流量変化を耳たぶから検出する。図 39 に計測した脈拍データの例を示す。時系列に取得した脈拍データから脈拍のピーク A 波（心電での R 波に相当）の間隔の時系列データ（AAI: A-A Interval）を取得し、周波数解析する。周波数解析の結果、LF（Low Frequency: 0.05～0.15Hz）領域は、交感神経と副交感神経活動を表し、HF（High Frequency: 0.15～0.4Hz）領域は、副交感神経活動を表すとされ、

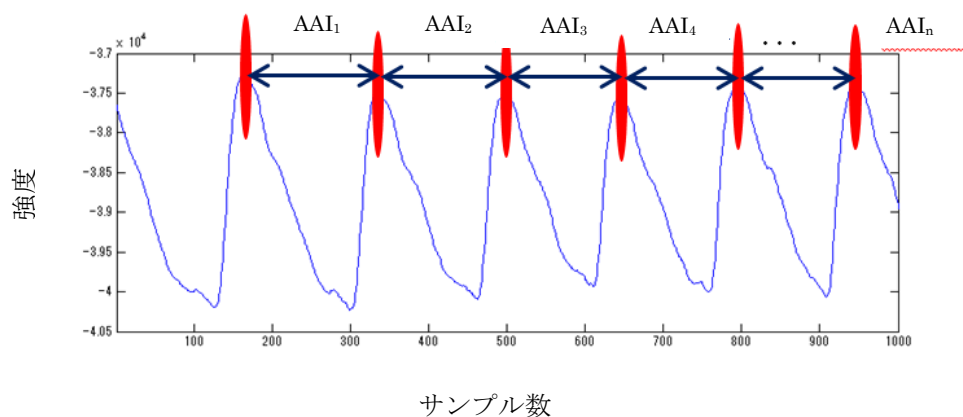


図39. 脈波

この比率 LF/HF が覚醒度（注意力）の指標として用いられる（図 40）。脈波は心電に比べて、動きや血圧変動の影響を受けやすく、脈波波形が心電図の R 波ほど明瞭な信号の立

ち上がりがないので正確性は劣るが、心電に比べて簡便にデータが取得できるので、本研究ではこの方法を用いて、LF/HF を計算し注意力の指標とした。

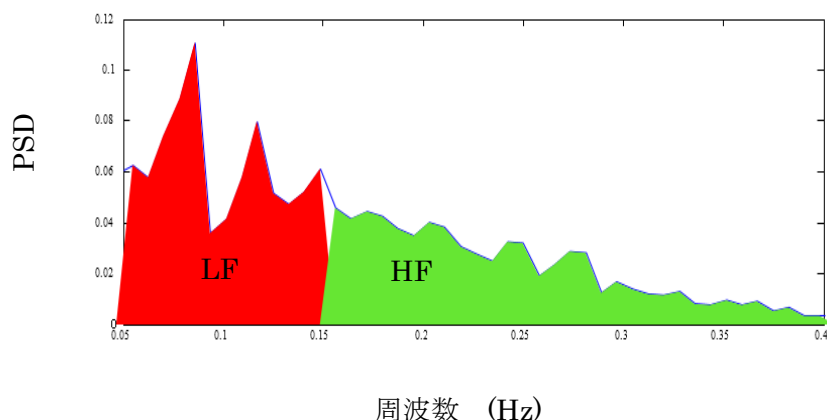


図40. 脈波間隔の周波数解析結果(左赤 LF:右緑 HF)

4.5.3 注意と脳活動

本研究では、脳活動を計測することで運転中の指差し呼称の実施により注意力や集中力が高められるのか客観的に評価することを目的としている。そのため、これまでの研究において注意の強さと相関している部位として、前頭前野近くにある帯状回前部が強く活動することが明らかとなっている。したがって、この帯状回前部、あるいはそこにつながっている前頭前野が注意と深く関連がある部位であると言われている。そのため、前頭部は注意集中度、注意配分能力、複数の作業の緊急性・重要性の順序づけ、推理・見積もり、能力、複雑な記憶を並行して捌く能力等に関係するとある。

大脳新皮質の解剖学・細胞構築学的に 1～52 の領域に分けたブロードマンの脳地図によると、額部分の 10 野、9 野、それに前頭葉背外側の 46 野あたりの脳活動の状態が計測できる。前頭葉部分の脳血流賦活を観察し、賦活度の変化が前頭葉の活動状態、すなわち注意力に関連すると考え、調査した。

また、視覚野と注意に関連した先行研究もいくつかされており、例えば、視覚注意によって 1 次視覚野の活動が変化するという先行研究[96]によると、空間のある場所に注意を向けると、向けていない場合に比べて、やがて呈示される視覚刺激に対する準備活動として、刺激呈示前に 1 次視覚野領域のアルファ帯域の活動が非同期的になることが分かった。

また、理化学研究所の研究[73]によると、刺激に対する第 1 次視覚野の最初の神経応答が、注意を向けることで増幅することが発見された。このように、人間の注意状態と視覚野も関連がある[98][99]と考えられるため、本研究では前頭前野と視覚野の脳活動を計測し、

その評価を行うこととした。

柳沼ら[99]は、ドライビングシミュレータを用いた場合の前頭葉の脳活動状態を調べ、前頭前野両外側部でブレーキ動作に応じて血流が上昇し脳活動の賦活が確認できたとしている。山口ら[100]は、社会的に遂行機能の低下に対するリハビリテーションニーズに対し、注意切り替え課題実施時の前頭前野の賦活と、年齢、課題遂行、課題特性が及ぼす影響を調べている。健常若年者と中年者における課題特性と脳賦活への影響について考察し、脳賦活反応性に対する年齢と成績の影響から、神経資源の容量（いわゆるワーキングメモリ）の負荷内であれば前頭前野背外側の賦活につながると結論づけている。

4.5.4 近赤外分光法（NIRS : Near-infrared spectroscopy）

脳血流動態の変化を計測する手法として、近赤外光を用いる近赤外分光法（NIRS: near-infrared spectroscopy）がある。これは、非侵襲的な脳活動計測手法であり、大脳皮質の神経活動に伴って起こる脳血流動態の変化を捉えることで脳活動を計測する。

NIRS による脳活動計測の最も優れた点の 1 つとして、被験者が比較的自由的な体勢で計測できる点が挙げられる。現在の NIRS 装置ではウェアラブルな計測が可能な機器も登場し、様々な状況下における脳活動計測が今後期待できる。そのため、本研究では自動車運転時の脳活動計測を想定しており、この手法での脳活動計測が最も適切であると考えた。

神経活動が起こると、その周囲にある血管が拡張し、エネルギー源となる酸素やグルコースを含む多くの動脈血を供給する調節機構が働く。そして、活動神経近傍の組織では、血流量・血液量が増大し、血液の酸化状態が変化すると仮定されている。一般に、このような神経活動と脳血液反応の関係は神経血管カップリング（Neuro Vascular Coupling）と呼ばれている。NIRS 計測では、この神経血管カップリングが存在するという仮定に基づいて、脳の局所ヘモグロビン濃度をとらえている。よって、NIRS で計測されるヘモグロビン濃度の変化は実際の神経活動そのものの現れではないが、神経活動の活発化に伴う血流動態を捉えるという間接的な脳活動指標として用いられる。

血流中のヘモグロビンは 2 種類存在し、1 つは神経活動に必要な酸素を含む酸素化ヘモグロビン（oxy-Hb）、もう 1 つは酸素を失った脱酸素化ヘモグロビン（deoxy-Hb）である。この 2 つ oxy-Hb と deoxy-Hb は吸光スペクトルが異なる（図 41）。そのため、この違いを利用することでそれぞれ oxy-Hb 濃度と deoxy-Hb 濃度が計測可能となる。

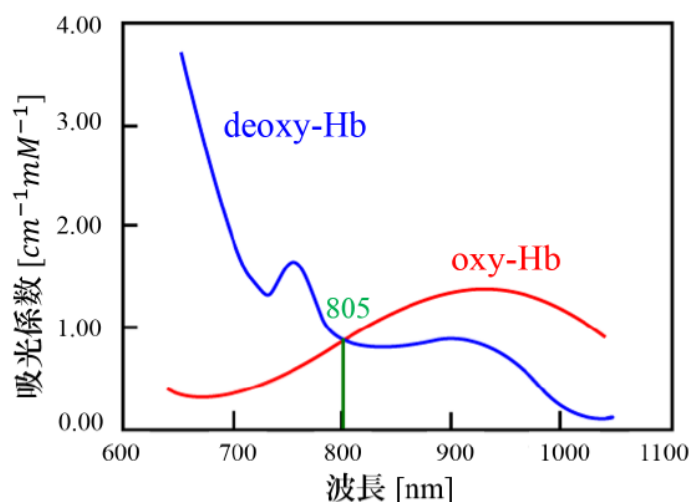


図41. ヘモグロビンの吸光スペクトル

NIRS では近赤外光を用いて脳内のヘモグロビン濃度変化を計測する．近赤外光とは図 41 に示す通り，波長 700～2500nm の光であり，他の波長領域の光と比べて生体への透過性が高い．また，近赤外光は生体に無害であるため安全性が高いといえる．

NIRS 計測装置には，送光部と受光部があり，送光部から頭部に照射された近赤外光が頭皮，頭蓋骨，髄液を散乱しながら透過し，脳に達する．さらに脳に達した光が再び頭皮まで戻り受光部で受け取った光量からヘモグロビン濃度を算出する．NIRS 計測の模式図を図 42 に示す．

さらに，ここからは具体的な NIRS の原理について記述する[101]．NIRS 計測は，modified Lambert-Beer の法則に基づいている（式(4.1)）．

$$\Delta Abs = \varepsilon \Delta C \langle d \rangle + \Delta S \quad (4.1)$$

$$\Delta Abs_2 - \Delta Abs_1 = \log \left(\frac{I_1}{I_2} \right) \quad (4.2)$$

ここで， ΔAbs は吸光度の変化， $\langle d \rangle$ は光路長の平均値， ε はモル吸光係数， ΔC は濃度変化， ΔS は散乱変化を示す． Abs （吸光度）は，式(4.3)で表され， I_0 は入射する光量， I は物体を透過した後に検出される光量を示す．

$$\Delta Abs = -\log \left(\frac{I}{I_0} \right) \quad (4.3)$$

また， ε （モル吸光係数）は物質ごとに決まった値をとる．このとき， d （光路長）を既知とすると，未知数は C （濃度）のみとなるため，物質の濃度を算出することができる．（散乱変化 ΔS はこの時点では， ΔS のままで計算を進める．）

濃度が時間経過とともに C_1, C_2, \dots, C_n と変化することを想定する. n は時刻を示し, 初期値は 1 であるとする. 濃度変化 ΔC は, $C_2 - C_1, C_3 - C_1, \dots, C_n - C_1$ のように初期値のときの濃度 C_1 との差分になる. 時刻 1 から 2 までの吸光度の変化量 ΔAbs は,

$$\Delta Abs_2 - \Delta Abs_1 = \log\left(\frac{I_1}{I_2}\right) = \varepsilon(C_2 - C_1)\langle d \rangle + \Delta S \quad (4.4)$$

となる. つまり, 各時刻の光量 I_1, I_2, \dots, I_n を計測することによって濃度変化が算出される.

また, oxy-Hb と deoxy-Hb を定量化するためには 2 波長以上での計測が必要である. 2 波長での計測ならば連立方程式を解くことにより濃度算出が可能となり, 3 波長以上での計測ならば, 最小 2 乗法によって濃度算出ができる. ここでは, 二波長の場合を考える. 計測に用いる近赤外光の波長をそれぞれ 1, 2 とし, oxy-Hb 濃度を C_{oxy} , deoxy-Hb 濃度を C_{deoxy} とする. このとき以下のように定式化できる.

$$\Delta Abs(\lambda_1) = \varepsilon_{oxy}(\lambda_1)\Delta C_{oxy}\langle d \rangle + \varepsilon_{deoxy}(\lambda_1)\Delta C_{deoxy}\langle d \rangle + \Delta S \quad (4.5)$$

$$\Delta Abs(\lambda_2) = \varepsilon_{oxy}(\lambda_2)\Delta C_{oxy}\langle d \rangle + \varepsilon_{deoxy}(\lambda_2)\Delta C_{deoxy}\langle d \rangle + \Delta S \quad (4.6)$$

$\varepsilon_{oxy}(\lambda_1)$ は波長 1 に対する oxy-Hb のモル吸光係数の値である. 式(4.5)および式(4.6)について連立方程式を解くことにより, それぞれのヘモグロビン濃度 C_{oxy} , C_{deoxy} を求めることができる. このとき, 散乱による影響を散乱係数が使用した波長の範囲で変化しないと仮定し, 散乱変化 ΔS を定数とおいて求めることが多い.

脳の光計測の場合, 生体が強い散乱体であるために入射した光が生体内で散乱し, どの程度の距離を伝わったのかを特殊な工夫をしないと求めることができない. そのため, 現在使用されている NIRS 信号は光路長とヘモグロビン濃度の積の形をとっている. このことからヘモグロビン濃度の値は初期値からの相対変化となっており, 濃度の絶対値を求めることができない. そのため, 定量性の問題があり, 単位が mol/L ではなく, mol/L·cm 等光路長を含んだ表現が用いられている.

補足として, この modied Lambert-Beer の法則 (式(4.1)) は Lambert-Beer の法則 (式(4.7)) から発展したものである.

$$Abs = -\log\left(\frac{I}{I_0}\right) = \varepsilon C d \quad (4.7)$$

しかし, この Lambert-Beer の法則では, 透明な液体に適応されるものであると同時に, 光源と検出器が一直線上の位置である場合に実現される方法である. NIRS のように生体に光を照射する場合, 吸収と拡散によって減衰しつつ伝播していく. 生体の計測では光源の入射と反射が同方向を向くことが多いため, Lambert-Beer の法則で計測が実現できないため, ここでは modied Lambert-Beer の法則が適用されている.

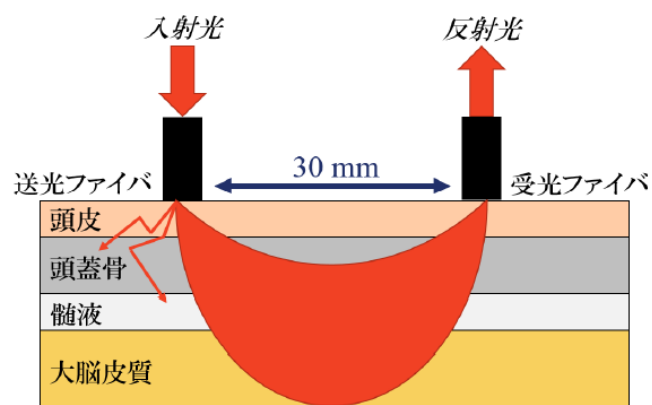


図42. NIRS 計測模式図

日立のウェアラブル光トポグラフィ（図 43）は，計測部位が前額部 22 チャンネルに限定される．図 44 に測定チャンネルを示す．図中の白丸印は送光部，赤丸印が受光部を示し，その間の白四角印はチャンネル番号である．装着が容易であり，装置全体が軽量かつ小型であるためウェアラブルな計測も可能である．



図43. NIRS 装置外観

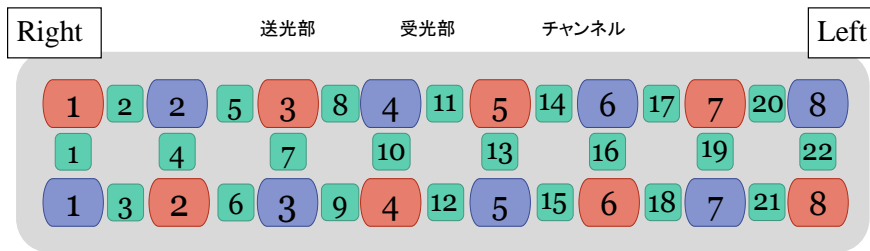


図44. 日立の光トポグラフィ

これらの装置では、酸素化ヘモグロビン (oxy-Hb), 脱酸素化ヘモグロビン (deoxy-Hb), 総ヘモグロビン (total-Hb) の3データがチャンネル毎に計測できる. 図45にNIRS装置を用いて計測した際の信号例を時系列で示す. ここでの総ヘモグロビン (total-Hb) とは、酸素化ヘモグロビン (oxy-Hb) と脱酸素化ヘモグロビン (deoxy-Hb) を足したものである.

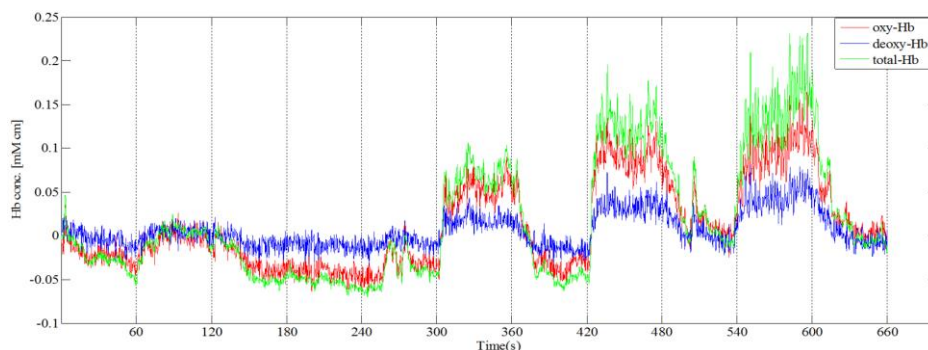


図45. NIRS 計測信号例

脳活動による局所的な脳内酸素消費は5%程度であるのに対し、それに伴って供給される局所脳内血流の増加は30-50%と消費に対して大きく上回る. そのため、脳活動が発生した領域では、典型的にoxy-Hbの増加とdeoxy-Hbの減少を示す[102]. また、oxy-Hbの変化が局所脳血流 (rCBF: re-gional Cerebral Blood Flow) の変化と高い相関があること[103][104], rCBFの増加は神経活動の増加を反映していること[105]から、本研究においては、計測される3つのデータのうち、oxy-Hbデータのみを評価に使用している. しかし、NIRSによって測定できる信号は絶対値ではなく、測定開始時からの濃度変化量という相対値であることに注意する必要がある.

4.6 脳血流解析

ここでは、本研究において行った脳血流 (NIRS 信号) 解析手法について説明する. NIRS

信号の解析手法については、決まった手法は未だ確立されていない現状にあるため、先行研究[102][103][104]を参考にその解析を行った。

4.6.1 前処理

NIRS 計測データには測定装置のノイズ、呼吸による影響、血圧変動等の脳活動に無関係な信号（アーチファクト）が多く含まれている（図 45）。また、様々な周波数帯の大小様々な変動（生理的揺らぎ）が重畳しており、非常にゆっくりとした右上がりの揺らぎがしばしば観測される。しかし、この揺らぎは本来の脳機能による反応ではなく、このまま解析を行うとあたかも脳活動が起こったかのような変化が現れてしまう。これは NIRS 信号計測における基線の変動として広く知られている[105]。

このような NIRS 信号を計測する上で混在するアーチファクトと基線の変動を同時に低減、除去する前処理手法として、本研究においては、柳沢ら[106]によって提案されている、離散ウェーブレット変換による多重解像度解析を用いた。この手法では、計測した NIRS 信号を分解して、ノイズと思われる成分を除去し、その後再構成を行う。まず、離散ウェーブレット変換による多重解像度解析について説明する。

ウェーブレット変換は、マザーウェーブレットと呼ばれる波形 $\psi(x)$ を平行移動、伸縮させて解析したい波形 $f(x)$ の局所的な様子を表現し、波形を解析する手法である。ウェーブレット関数は

$$\psi_{a,b}(x) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{x-b}{a}\right) \quad (4.8)$$

と定義される。 a はスケールと呼ばれ、伸縮を行うパラメータであり、 b はシフトと呼ばれ、平行移動を行うパラメータである。連続ウェーブレット変換は式(4.9)で与えられる。

$$W(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \psi^*\left(\frac{x-b}{a}\right) dx \quad (4.9)$$

ウェーブレット関数は一般的に複素数であり、内積には複素共役が用いられる。そのため式(4.9)の*は複素共役を表している。パラメータ a, b を離散化したものは離散ウェーブレット変換と呼ばれる。 a, b は一般的に 2 進分割によって、

$$a = 2^{-j} \quad (4.10)$$

$$b = k2^{-j} \quad (4.11)$$

のように離散化される。このとき式(4.8)のウェーブレット関数は、

$$\psi_{j,k}(x) = \frac{1}{\sqrt{2^{-j}}} \psi\left(\frac{x-k2^{-j}}{2^{-j}}\right) = \sqrt{2^j} \psi(2^j x - k) \quad (4.12)$$

となる。 n 個のデータから成る離散信号 $f[n]$ に対する離散ウェーブレット変換は、

$$W[j, k] = \sum_{n=0}^{N-1} f[n] \psi_{j,k}^*[n] \quad (4.13)$$

となり、ウェーブレット関数は、

$$\psi_{j,k}[n] = \sqrt{2^j} \psi(2^j n - k) \quad (4.14)$$

と置き換えられる．正規直交基底を用いることにより，原信号の完全な再構成が冗長性なしに可能となる．

多重解像度解析（MRA: multi-resolution analysis）は，離散ウェーブレット変換を用いて信号を階層構造に分解する手法である．対象の時系列信号 $S(t)$ を近似成分（低周波成分）と複数の詳細成分（高周波成分）に分解する．信号 $S(t)$ は正規直交基底を用いた離散ウェーブレット変換により式(4.15)のように表現できる．

$$S(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} A_{j_0,k} \phi_{j_0,k}(t) + \sum_{j=-j_0}^{j_0} \sum_{k=-\infty}^{\infty} D_{j,k} \psi_{j,k}(t) \quad (4.15)$$

このとき $\phi_{j,k}(t)$ はスケーリング関数であり，式(4.16)で定義される．

$$\phi_{j,k}(t) = \sqrt{2^j} \phi(2^j t - k) \quad (4.16)$$

近似成分の係数は、

$$A_{j,k} = \int_{-\infty}^{\infty} S(t) \phi_{j,k}(t) dt \quad (4.17)$$

によって計算される．レベル j における信号の詳細成分は

$$d_{j,k}(t) + \sum_{k=-\infty}^{\infty} D_{j,k} \psi_{j,k}(t) \quad (4.18)$$

となる．近似成分 $a_{j_0}(t)$ と詳細成分 $d_j(t)$ によって原信号 $S(t)$ は、

$$S(t) = a_{j_0}(t) + \sum_{j=-j_0}^{j_0} d_j(t) \quad (4.19)$$

と表現できる．

分解した NIRS 信号において，複数の詳細成分から信号を再構成することによってアーチファクトの除去を行う．本研究では先行研究[106]に従い，マザーウェーブレットとして Daubechies ウェーブレットを用いて，計測した NIRS 信号を 10 段階に分解する．また，このウェーブレットは，生成指数 N によって，正則性が変化する特徴を持つため，比較的高次の生成指数： $N=7$ とした．

ここで，多重解像度解析によって分解された信号を図 46 示す．先行研究[106]によると， a_{10} の近似成分は NIRS 信号に特徴的な基線の変動であり， d_1, d_2 成分は計測ノイズ， d_3, d_4 成分は呼吸による影響， d_5, d_6 成分は血圧変動・血流の体温調整による影響であるとされる．そのため，これらの成分を除去し，タスクに関連する成分のみで波形の再構成を行う．

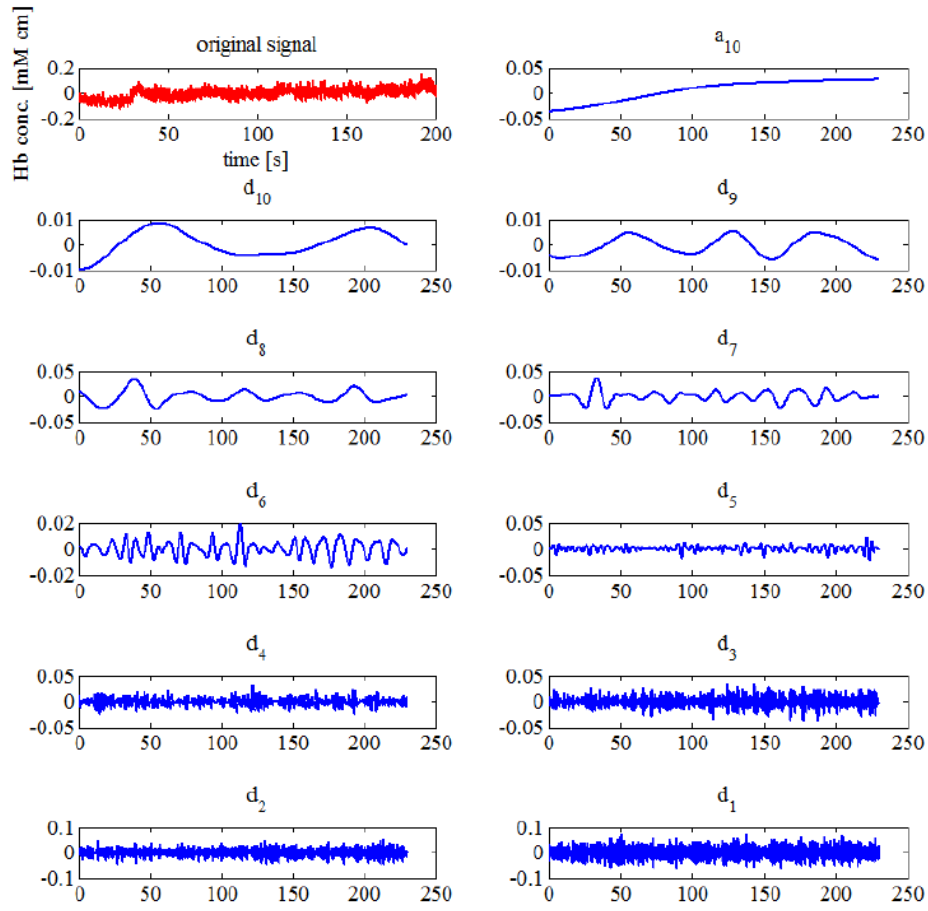


図46. 分解された信号

4.6.2 賦活量の算出

タスクによる NIRS 信号の変化をみるために、加算平均法がよく用いられる。加算平均を行うことによってタスクによる反応が明瞭化される。また、加算する数を増やすことで、アーチファクトの影響を低減することができる。

複数被験者の加算平均を求める際には個人差を考慮する必要がある。ここでいう個人差とは主に各被験者の Hb 濃度の変化傾向の違いを指す。そこで、式(4.20)で Z-score による標準化を行い、全試行のコントロールの平均値を 0、標準偏差を 1 にする。ここでの $x(t)$ は時刻 t における Hb 濃度値、 \bar{x}_f はコントロールにおける Hb 濃度の平均値、 σ_f はコントロールにおける Hb 濃度の標準偏差である。

$$Z(t) = \frac{x(t) - \bar{x}_f}{\sigma_f} \quad (4.20)$$

このように、コントロール（レスト）時における Hb 濃度の変化に基づき標準化するこ

とによって、被験者間の比較や総加算平均の算出が可能になる。

コントロール（レスト）時と比較して、タスク時にどれほど脳血流に変化があったかをみるため、本研究では、その変化量を賦活量として以下のように定義した。

$$ACT(n) = AV_{\text{task}}(n) - AV_{\text{cont}}(n) \quad (4.21)$$

このとき、 $AV_{\text{task}}(n)$ はタスク時間中の平均 Hb 量、 $AV_{\text{cont}}(n)$ は、コントロール時間中の平均 Hb 量である。 n はチャンネル番号であり、この賦活量をチャンネルごとに算出した。

4.7 評価実験

指差し呼称の評価実験は、指差し呼称の効果を確認しやすくするために、タスク時に指差し呼称を連続的に継続する PC 実験をまず実施し、その後、実際の運転シーンに近づけて、タスク時には指差し呼称は3回のみに制限するドライビングシミュレータ（DS）での実験の2つを行った。以下、詳細に説明する。

4.7.1 PC での実験

道路での走行時の指差し呼称を想定し、直線道路運転時に道路わきに出現する標識（図 47）を図 48 に示すように指差し呼称することで注意力への影響を検証した。実験の様子を図 49 に、実験プロトコルを図 50 に示す。レスト状態、コントロール、タスクは1分毎とし、合計で11分の実験とした。レストは、パソコン画面上に十字を見つめ安静とする事とした（図 47 の一番左）。指差し、呼称、指差し呼称は、其々のタスク（1分間）の間は連続して何度も行ふこととした。それぞれのタスクは、下記のように定義した。

- ① コントロール：真っ白な標識を見る：Cont.
- ② 黙読：黙読（心の中で標識を読む）：Read Silently
- ③ 指差し：黙読しながら指差す：Point
- ④ 呼称：声を出して読み上げる：Calling
- ⑤ 指差し呼称：指で標識を差し読み、よし!：Point and Calling

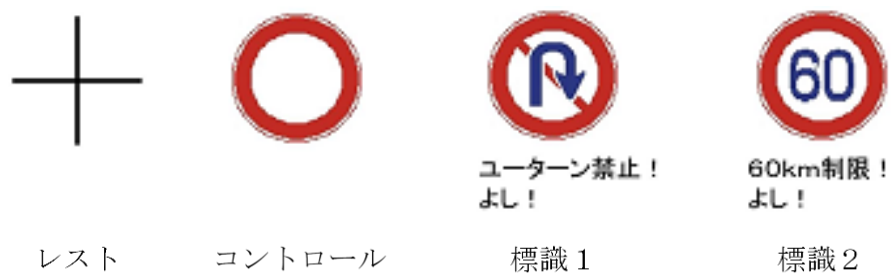


図47. 標識の例

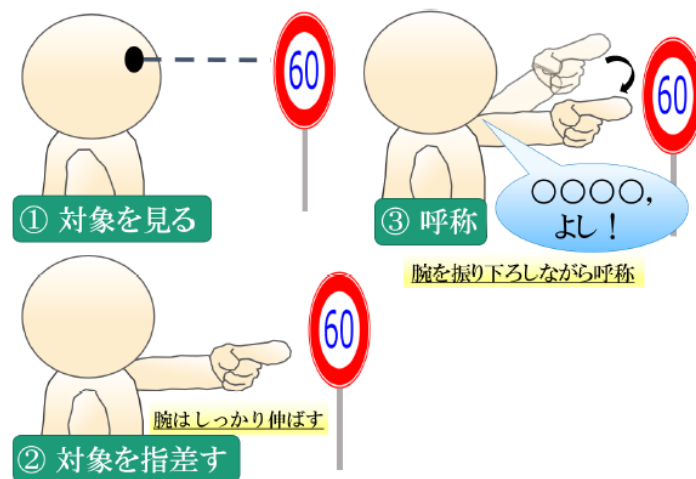


図48. 指差し呼称の実施方法



図49. PC での実験風景

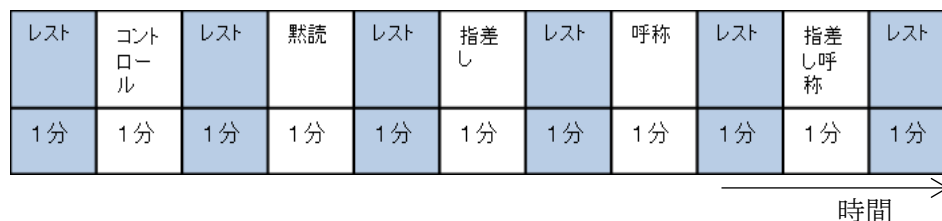


図50. 実験プロトコル

それぞれのタスク前には、レストを1分入れた。またタスクに用いる標識の一部は図47に示した通りである（標識1，標識2）。実験中の脳活動，VAS，自律神経活動の状態をモニタリングし，指差し呼称の効果を検証した。被験者は，実験方法を十分に説明し同意を得た20代の男性3名と40代の男性1名の健康な男性4名（全て右利き）で行った。

4.7.2 ドライビングシミュレータでの実験

次に運転中の状態での指差し呼称の効果を実車に近い状態で確認するために，ドライビングシミュレータ（図51）を用いて実験を行った。手順は，PCでの実験とほぼ同様である。クルマを運転中に標識を確認したら指差し呼称を行うのは同じである。直線道路を一定の時速（40km/h）で走行中に，左右に標識が時々現れる。被験者は，図52に示すように直線道路を運転中に左右に現れる標識（道路左わきに現れた標識）を確認できた時点で，指差し呼称等のタスク動作を行うが，指差し，呼称，指差し呼称は，PC実験の時のようにタスクの間，何回も連続して行うのではなく，3回のみに制限した。PC実験と同様に，黙読，指差し，呼称，指差し呼称の各タスクについて，主に脳活動の計測を行った。レストは，単にまっすぐ運転する状態とした。被験者は，実験方法を十分に説明し同意を得た20代の男性3名と40代の男性1名の健康な男性4名（全て右利き）で行った。



図51. ドライビングシミュレータでの実験



図52. 道路上の標識を発見したら指差し呼称

指差し呼称タスクでは、被験者間で実施方法に大きな差が出ないように、図 48 の通りに行ってもらようよう事前に指示した。また、運転を行いながら実施してもらうため、運転に支障が出ない程度に行ってもらった。尚、指差し動作は全て左手で行ってもらった。呼称内容に関しても事前に被験者に教示した。

呼称タスクでは、声に出して標識の確認を行う呼称のみを実施してもらった。指差しタスクでは、呼称内容を黙読しながら、標識を指差し確認してもらった。黙読タスクでは、呼称内容を心の中で読み、標識の確認をしてもらった。

全チャンネル数（22 個）のデータについてチャンネルごとに以下の処理を行っていく。

まず、「タスク走行」と「通常走行」をそれぞれ 4 試行分切り出す。実際のタスク実施時間の前後 10 秒間ずつを合わせた 30 秒前後をタスク走行時間、タスク実施開始 20～10 秒前の 10 秒間を通常走行時間とした。

次に、試行ごとに切り出したデータに対し、以下の式(4.22)により「通常走行時」を基準に標準化を行った。

$$Z_{nm}(t) = \frac{x_{nm}(t) - \bar{x}_{f_{nm}}}{\sigma_{f_{nm}}} \quad (4.22)$$

ここで、 $Z_{nm}(t)$ は、時刻 t における被験者 n の m 試行目の Z スコア値、 $x_{nm}(t)$ は、時刻 t における被験者 n の m 試行目の Hb 濃度値、 $\bar{x}_{f_{nm}}$ は、被験者 n の m 試行目における通常走行時の Hb 濃度の平均値、 $\sigma_{f_{nm}}$ は、被験者 n の m 試行目における通常走行時の Hb 濃度の標準偏差である。

そして、標準化を行ったデータを用いて、式(4.23)によって賦活量を算出した。

$$ACT_{nm} = tAV_{nm} - cAV_{nm} \quad (4.23)$$

ここで、 ACT_{nm} は、被験者 n の m 試行目の賦活量、 tAV_{nm} は、被験者 n の m 試行目におけるタスク走行時の Hb 濃度の平均値、 cAV_{nm} は、被験者 n の m 試行目における通常走行時の Hb 濃度の平均値である。

最後に、式(4.24)により、各被験者の賦活量の加算平均を行った。

$$aACT_n = \frac{1}{4} \sum_{m=1}^4 ACT_{nm} \quad (4.24)$$

また、式(4.25)により、被験者毎に求めた賦活量を全被験者分加算平均した。

$$aACT = \frac{1}{3} \sum_{n=1}^3 aACT_n \quad (4.25)$$

4.8 実験結果

4.8.1 PC での実験結果

指差し呼称の PC での実験結果について、VAS, 自律神経活動, NIRS について説明する。

A. VAS（Visual Analog Scale）での結果

主観評価指標である VAS をタスク直後毎に被験者に対して実施した。結果を図 53 に示す。Cont. は、コントロール、Read Silently は黙読、Point は指差しのみ、Calling は呼称のみ、Point and Calling は指差し呼称を示す。20cm の数直線上で被験者が縦線を入れた部分の左側からの長さを計測した。被験者は 4 名で、被験者 B を除いて、被験者 A, C, D とともに、コントロール、黙読、指差し、呼称、指差し呼称において VAS 値が上昇し、注意レベルが向上している。被験者 B においても、呼称、指差し呼称が他よりも向上し、注意力が上がる傾向があることがわかった。図 54 は、4 名の平均である。コントロール、黙読、指差し、呼称、指差し呼称の順に VAS 値が向上していることがわかる。一要因分散分析を行ったところ 5% 水準で有意性が表れた ($F(4,15)=3.75, p<0.05$)。しかし、多重比較分析 (Turkey 法) を行ったところ、有意水準 5% での有意性は認められなかった。

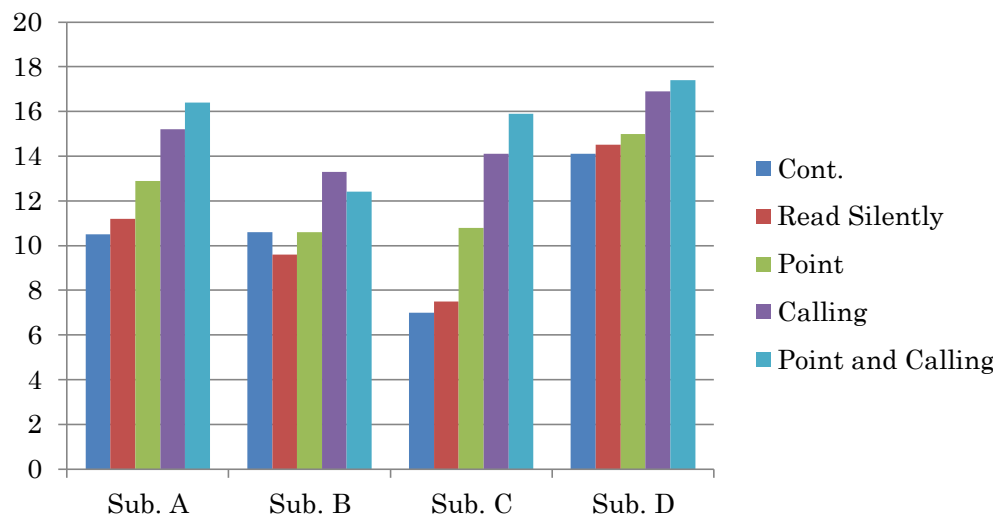


図53. VAS による注意力変化の結果 (被験者別)

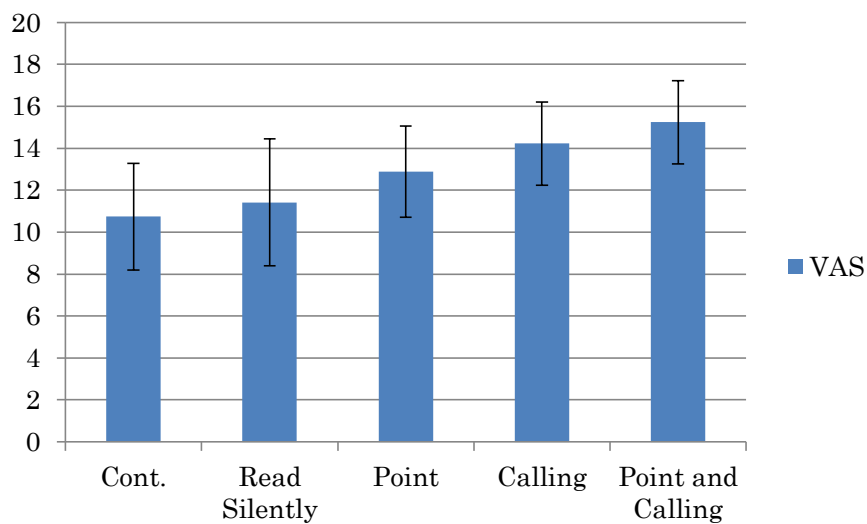


図54. VAS による注意力変化の結果 (平均)

B. 自律神経活動での結果

自律神経活動での交感神経指標である LF/HF についてタスク毎に計測を行った。LF/HF は、ストレス指標として扱われるが、短期的には注意力の指標として用いることができる

と考えた。脈拍センサによる 200Hz でサンプリングした脈拍波形を 10 点移動平均した後、微分してピーク値を求めた。ピーク値を集めて脈波間隔時系列化したデータについて FFT を用いて周波数解析した。窓関数はハニング窓を用いた。周波数解析後に LF/HF を被験者毎に求めた結果を図 55 に示す。被験者は 4 名で、被験者 B、D については呼称、指差し呼称で交感神経指標が向上し、交感神経レベルが活性化した傾向が見え、注意力が向上している可能性がある。しかし、被験者 A については指差し呼称により、逆に自律神経の交換神経活動が下降しているか、あるいは変化があまりないように見える。被験者 C については実験開始前から緊張していたせいか、開始直後も交感神経レベルが大幅に大きくなっている。

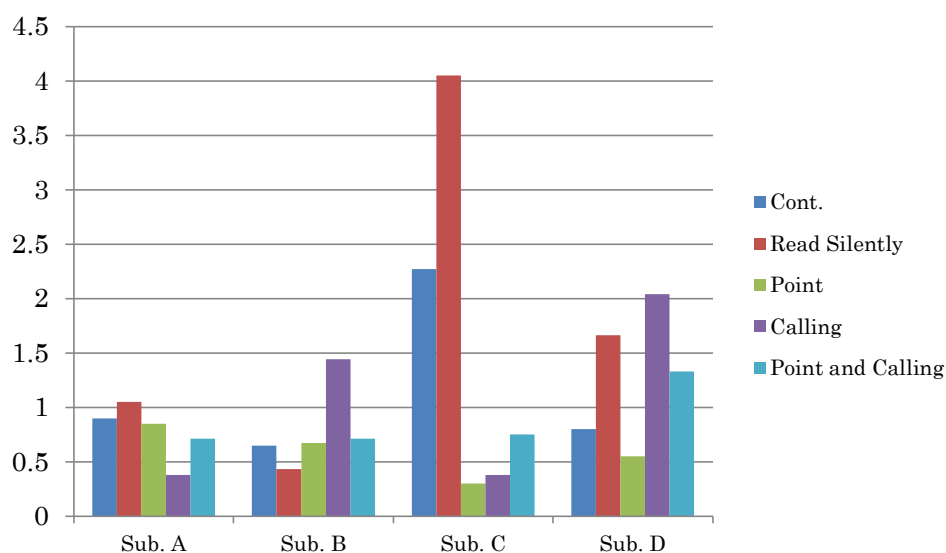


図55. 自律神経活動計測による注意力変化(被験者別)

図 56 は、4 名の平均値を示す。ここで興味深い点として、指差しのみ時の交感神経の活性化が少ないことである。呼称に対して、指差しの効果はそれ程大きくない可能性も示唆された。結果に差が出た理由は個人差もあるが、タスク自体が 1 分程度と短いことで自律神経の明確な変化として十分に捉えることができなかった可能性も考えられる。

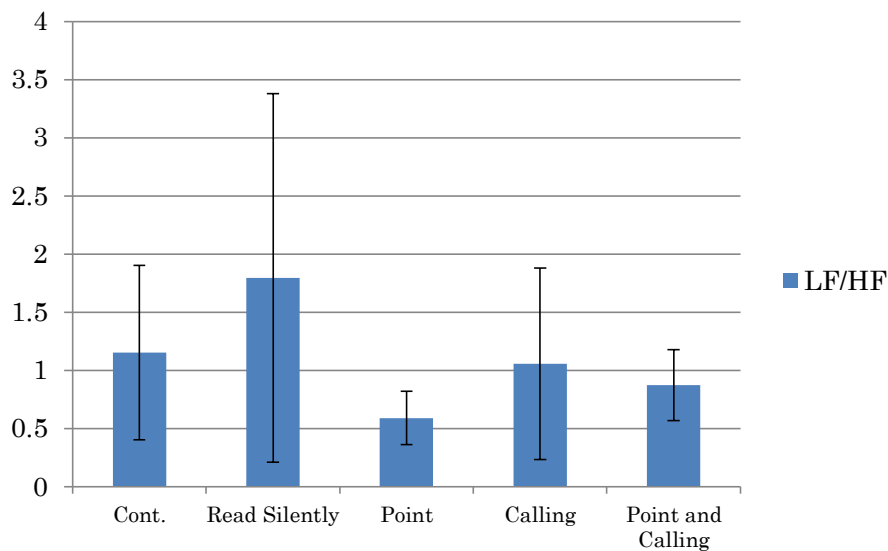
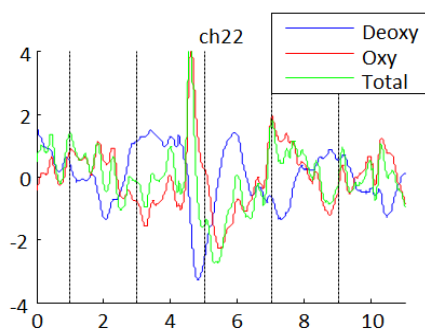


図56. 自律神経活動計測による注意力変化(平均)

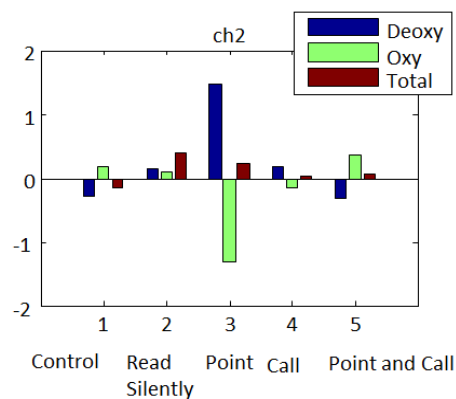
C. NIRS での結果

指差し呼称時の効果確認として、先行研究[89][93][107][108]を参考にして注意や集中といった高次の脳活動の賦活を示すとされる前頭前野の血中酸素化ヘモグロビン濃度変化量（以下、Hb）の増加量を計測した。計測データの一例を図 57 に示す。(a)は、Hb をそのまま記録した例で、(b)はタスク直前の 10 秒前平均からの Hb 増加量を示したものである。図中、血中酸素化ヘモグロビン濃度 (Oxy)、血中脱酸素化ヘモグロビン (De-oxy)、総合 (Total) の 3 つを示している。また、(b)の横軸の 1, 2, 3, 4, 5 は、それぞれ、コントロール、黙読、指差し、呼称、指差し呼称タスクに対応している。呼称（横軸 4）、指差し呼称（横軸 5）において、Oxy 量が増加している様子がみてとれる。図 58、図 59 には、指差し呼称タスク有無による前頭葉の脳活動状態の例を示す。コントロール状態（図 58）に比べて、指差し呼称時（図 59）が特に中央部の周辺で活性化している様子がわかる。

さらに被験者 4 名の計測結果について、チャンネル毎に加算平均した結果を図 60、図 61 に示す。ここでは特に注目した Oxy 量についてのみ示している。



(a)実験時の Hb の変化



(b)直前のレストからの変化量

図57. 指差し呼称時の前頭葉脳活動

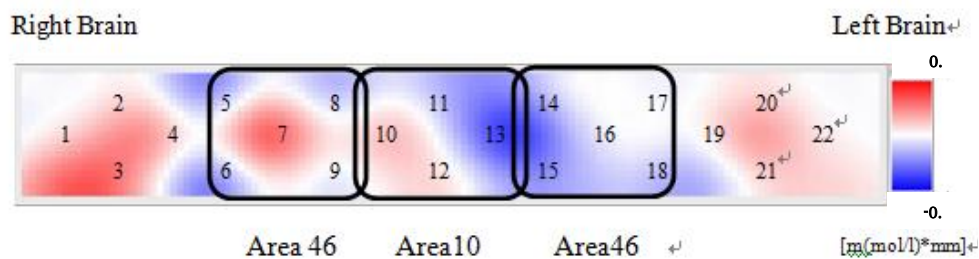


図58. コントロールの脳活動状態

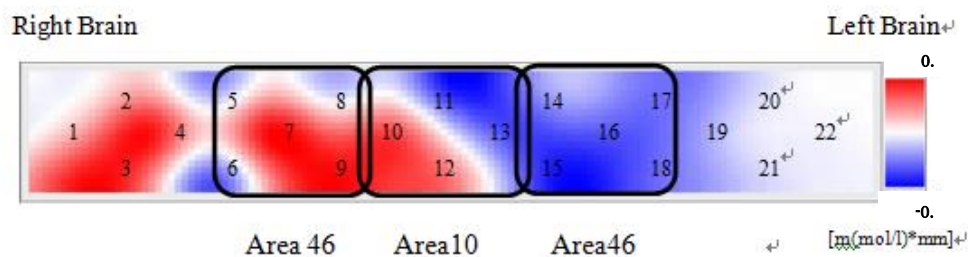


図59. 指差し呼称時の脳活動状態

図 60 は前頭葉右側，図 61 は前頭葉左側の活動状態の 4 名の Hb 変化を加算平均した結果の Hb 変化を示している．横軸は各タスク番号である．1～5 はそれぞれコントロール，

黙読, 指差し, 呼称, 指差し呼称タスクに対応している. 縦軸は Hb 変化量を示している. Oxy の変化を観察したところ, 特に, 呼称と指差し呼称時において前頭葉中央部分と外側部分で賦活の傾向が見られた. 一要因分散分析を行ったところ, 前頭葉右側部分ではチャンネル 2, 6, 11, 12 に, 前頭葉左側部分ではチャンネル 14, 15, 16, 17, 18 に対して水準 5% で有意差が出て, Oxy の賦活での差が確認できた. また, 多重分析 (Turkey 法) を行った結果, チャンネル 2 と 12 で有意差 (水準 5%) があつた (CH12: $F(4,10)=4.94$ $p<0.05(0.0185)$, CH2: $F(4,10)=4.86$ $p<0.05(0.0195)$).

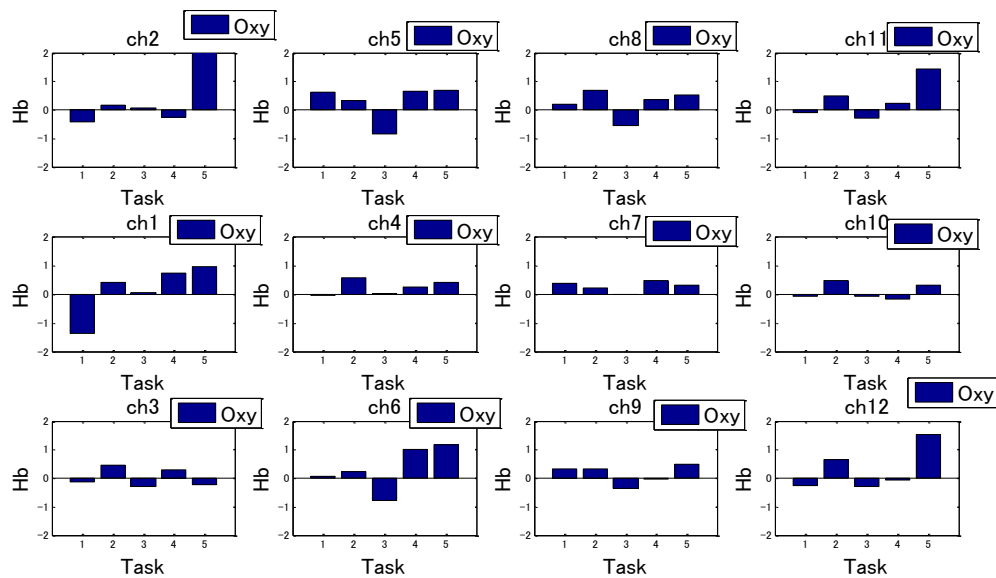


図60. 右脳側の直前レストからの変化量(PC 実験)

チャンネル 2 は前頭葉背外側部で 46 野にあたり, チャンネル 12 は 10 野にあたる. ここは実行機能を担う中心的領域で, 注意・集中やワーキングメモリの領域に関連し, 2 つの異なる課題を同時遂行する 2 重課題や未来において計画する事に関連すると報告されている. したがって, 指差し呼称において, 注意力が高まったと考えることが出来る.

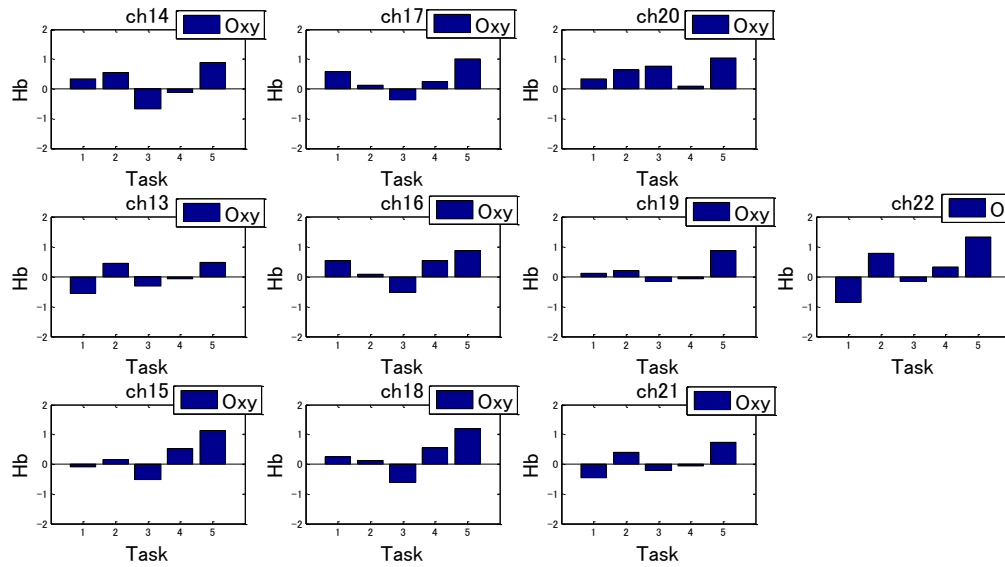


図61. 左脳側の直前レストからの変化量(PC 実験)

4.8.2 ドライビングシミュレータ (DS) での実験結果

A. NIRS での結果

評価方法は、PC での実験と同様であるが、タスク時の増加量は、標識を確認できる直前の時間の 10 秒間（通常運転中）の平均からの差異とした。タスク時 Hb 量も 1 分間の平均とした。計測結果を図 62，図 63 に示す。横軸は各タスク番号である。1～4 はそれぞれ黙読，指差し，呼称，指差し呼称タスクに対応している（コントロールはなし）。Oxy の変化を観察したところ，タスク時の指差し呼称の動作は 3 回だけであるが，DS 実験の時と同様に，特に呼称と指差し呼称時において PC 実験と同様に前頭葉中央部分と外側部分で賦活の傾向が見られた。

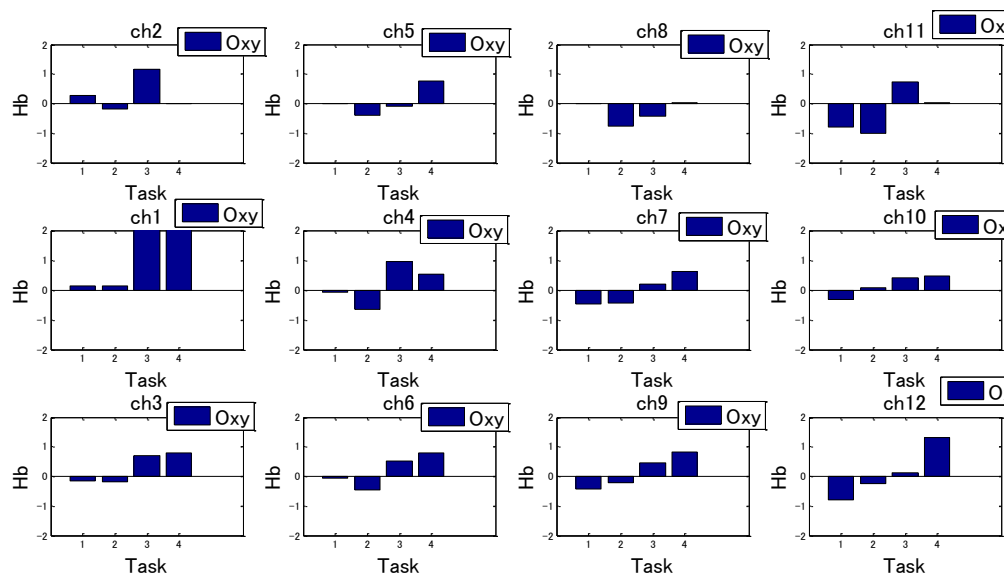


図62. 右脳側の直前レストからの変化量(DS 実験)

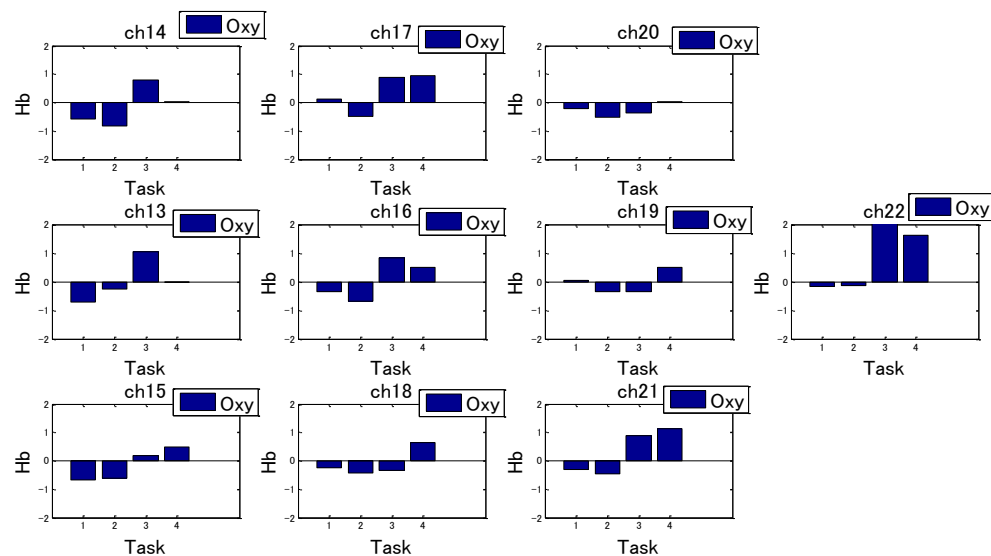


図63. 左脳側の直前レストからの変化量(DS 実験)

一要因分散分析を行ったところ、前頭葉右側部分ではチャンネル 11 と 12 に、前頭葉左側部分ではチャンネル 14, 16, 21 に対して水準 5% で有意差が認められ、Oxy の賦活での差が確認できた。また、多重分析 (Turkey 法) を行った結果、チャンネル 11, 12, 14 で有意差 (水準 5%) があつた (CH11: $F(3,12)=5.17$ $p<0.05(0.0016)$, CH12: $F(3,12)=11.74$

$p < 0.01(0.0007)$, CH14: $F(3,12)=8.78$ $p < 0.05(0.0024)$). これらのチャンネルは、注意・集中に関連するとされる領域であり、DS 実験においても PC 実験と同様に指差し呼称により注意力が高まったと考えることが出来る結果となった。

B. 指差し呼称の効果についての考察

NIRS による評価において、DS 実験で有意差が認められたのは何れも指差し呼称タスクとコントロールタスクとの差においてであった。指差し呼称は先に述べたように、注意物を目視確認、指で指して確認、声を出して確認、自分の声を再度聴いて確認、となる複合動作になっており、ヒトの意識レベルを高めるためには出来るだけ脳への刺激が多い方がよいという観点からも納得のいく結果となっている。しかしながら、DS 実験においては指差し呼称タスクではなく、呼称のみタスクの方で有意差が出ているチャンネルがあった。この事は、指差しという単純運動作業を行うことで、行為そのものが真剣さを欠いた安易な動作になったとも考えられる。乗り合いバスでのシーンとして、指差し呼称が実質を伴わない単純作業として実施されている場合を時折見かけることがあるが、そのような場合に適合するとも考えられる。

また PC および DS 実験の両方の実験において、指差し呼称行為の効果が脳活動の賦活として表れるのはタスク開始後数秒経ってからであり、脳活動の賦活は 1 分ほど継続して増加し、その後緩やかに低下する傾向があることがわかった（図 64）。低下傾向に向かうとすぐに注意力散漫になるとは考えにくい、活性化をうまく継続させることができれば注意力を維持させることができる可能性が示唆された。

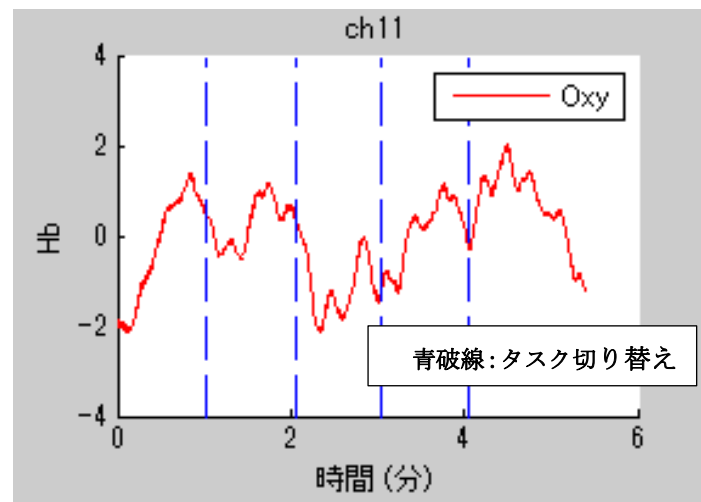


図64. 脳血流の変化量(例)

4.9 まとめ

日本における交通事故による死者数は若い年齢層や青・壮年では減少傾向にあるが、高齢者では逆に増加している。高齢者の事故は今後も増えていくと考えられ、有効な対策が望まれている。

本研究では、高齢者ドライバーの事故の原因として特に心理的特性に着目し、注意力や集中力を改善させる方法について検討した。ドライバーの意識レベルを高めるために、覚醒レベルが下がったことを検知して対応するのではなく、現在の意識レベルには関係なく、リスクが予想される地点近くで常に意識レベルを向上させる“予防的な方法”を用いることとした。そして、高齢者ドライバーが持続的に意識レベルを向上させる方法として“指差し呼称”を用いる方法を提案し、その効果を定量的に評価した。

指差し呼称はバスの発車時などに一部既に使用されているが、定量的に評価した研究例がまだ少ない。そこで、本論文では高齢者ドライバーの心理的特性の改善のために、指差し呼称の運転への適用を考え、その効果を、①VAS (Visual Analog Scale)、②自律神経活動、③NIRS (Near-infrared spectroscopy) による脳活動評価の3点から検証した。

その結果、自律神経活動では個人差が大きく、変化が安定してみられなかったものの、VAS の主観的調査では注意力の改善がみられるとともに、NIRS による評価では前頭葉の脳活動の賦活が観測された。このように一定の効果が認められ、指差し呼称の効果が確認できた。信号や速度制限や一時停止マーク等の道路標識及び道路標示を発見時に指差し呼称を行うことで注意力の維持がある程度図れる可能性があることがわかった。

内閣府の発行した交通安全白書[109]によると、平成 24 年の全国の信号機の設置基数は約 20 万基であり、また都道府県公安委員会が設置し管理する規制標識及び指示標識は約 1,001 万枚である。道路には十分な量のイベントがあり、これに対する指差し呼称が注意力の維持に役立つ可能性がある。

今後の課題としては、被験者が若年者に留まったことで高齢者への効果検証が十分でないことや、指差し呼称を実際の運転にそのままの形で適用すると片手運転になったりして危険になる場合が想定され、指差し呼称を実際に実装する場合は工夫が必要であること等が挙げられる。例えば、人間はミラーニューロンと呼ばれる脳の仕組みがあり、他人が行っていることを見るだけで、自分自身でリハーサルし、自分が行う場合と同じ脳部位が活動することが知られている[110]。即ち、例えば片手運転が伴う“指差し”の部分は自分以外の誰かが実行していることを見る（心の中で思い込むだけでも良いかもしれない）だけで同等の効果が望めることも考えられる。今後、指差し呼称を実際のクルマに効果的に実装する方法について研究を進める。

第5章 結論

本研究では、近年、社会問題となっている高齢者の交通事故数を削減することを目的とし、1)高齢者ドライバーの運転適正能力の衰えを計測する方法と、2)衰えた運転能力を補う方法について論じた。前者の1)では、単なる計測ではなく、高齢者ドライバーで事故を起こす可能性がある危険なドライバーを判別する視点で研究を進めた。後者の2)では、危険ドライバーの要因の1つである行動主導型の抑制に効果があると思われる、指差し呼称に着目し、その効果を定量評価した。本研究によって、高齢者ドライバーの中で事故を起こしやすい危険ドライバーを早期に見つけ、そのドライバーに指差し呼称を実施させることで、交通事故を削減できる可能性を示唆した。

上記の1)の運転能力を計測する方法に関しては、運転に必要となる認知・判断・操作について、出来るだけ日頃の運転状態を計測できること、簡易に基礎能力を計測できることを目指し、ドライビングシュミレータを用いた計測方法を検討し、また高齢者ドライバーの中でも特に早々にサポートが必要となるであろう、交通事故リスクの高い、“危険な”高齢ドライバーを早期に判別するための客観的な指標を明らかにし、手法として具体化することを目的とした。

具体的には、高齢者講習データを集めた大規模データから危険ドライバーを判別することを試みた。大規模データとは、70歳以上の高齢者は免許更新時での高齢者講習（ドライビングシュミレータや実地試験、認知試験）の受講が義務付けられている高齢者講習データを集めたものである。この高齢者講習時のテスト結果（データ）を解析することで、危険ドライバーの兆候がわかるのではないかと考えた。危険ドライバーの傾向として、先行研究で、特に2つの要因がある、運転時の危険の感知能力と運転に対する態度・姿勢をあげている。この研究では、上記の両方の要因について検討を行い、高齢者のテストデータを解析することによって危険ドライバーを判別する方法について検討した。危険ドライバーかどうかの重要な要因となる、リスク感知能力の変化を捉える方法として、高齢者が運転免許の更新時に受けるドライビングシュミレータや実車を使った高齢者講習のテスト時の反応時間や正確性、衝突回数などを用いた。そして、認知症疑いのあるドライバーの特徴があると同時に、危険ドライバーの特徴もあることがわかった。講習データに対してロジスティック回帰分析を実施し、高齢者講習データより認知症疑いのあるドライバーをある程度判別（判別精度は82.5%）できることを確認した。

危険ドライバーの特徴として、認知能力より運動能力が優れている人、つまり行動が認知に先行してしまう行動先行型の特徴があることとする Drake 説[49]があった。その後、日本での吉田がこの Drake 説を巧妙に実験で検証作業を実施し、このような傾向があることを確かめた[111]。

この危険ドライバーの特徴である Drake 説を支持し、正確性を欠いた行動主導型の反応を示すパラメータを用いたことで認知症疑い者の判別精度があがったことで、認知症疑い者の特徴として、正確性を欠いた行動主導型の特徴を持つことが明らかになった。認知症疑いの特徴を持つドライバーが危険ドライバーである可能性を示唆できた。

また、上記の 2) の衰えた運転能力を補う方法および危険ドライバーの特徴である行動主導型の特徴を抑える方法として指差し呼称運転を取り上げた。現状の業界での開発の中心は、ドライバーの運転を代替するクルマ（機械）による自動走行機能である。たとえば自動ブレーキや自動レーンチェンジなど、人を介さない機械制御が先行して開発されており、一定の成果をあげている。これらの技術は、高齢者向けなど特定のドライバー向けに特化したものではないが、運転能力の低下した高齢者には特に恩恵が得られると推測できる。自動走行を実現する電子機械系の研究開発は今後も必要となると思われる、2020 年頃には一部の特定道路、たとえば高速道路などでの完全自動走行が実現できると思われる。しかし、一般道での実現となるとまだ年月がかかり、当分の間はドライバーと機械との協調運転の時代が続くことになると考えている。

そういった背景の中で、ドライバーの責任に負うところはまだ続き、自動走行と手動運転の両方を意識する必要があることで、今まで以上にドライバーが安全運転を実行（意識）できるかが重要になってくると考えた。

本研究では、そのような人間中心の、人間主導型の安心安全の取組みとして、指差し呼称を取り上げた。運転という動作は様々なタスクの集合体であり複雑なタスクであり、認知・判断・操作で成り立っている（図 65）。『指差し呼称』という動作を分解すると、注視すべき物体に視線を向ける『指差し』、物体を認識する『呼称』という動作になるが、それぞれの動作は、安全運転を実現するためには、とても重要な行動となっている。『指差し』では、認識すべき対象をまずは目でしっかりと見て、『呼称』することによって、自分の声と発する行為と、自分の声、言葉を耳で聞いた同時に判断を行うことで判断をより強固なものにできる。そしてその後、操作動作に入る。確実な認識の上で、行動に移るのである（図 65）。

本研究では、このような指差し呼称の効果を、主観評価、自律神経活動による変化、および脳活動（NIRS）を用いて定量的に評価し、指差し呼称の効果の確認を行った。従来は、経験的に効果があることは知られていたが、主観評価と客観評価の両面から定量的にその効果を確認したものは殆どなく、車向けでは初めてであった。

分析の結果、自律神経活動では個人差が大きく変化が安定してみられなかったものの、VAS の主観的調査では、注意力の改善がみられるとともに、NIRS による評価では、前頭葉の脳活動の賦活が観測され、一定の効果が認められ、指差し呼称の効果を確認できた。運転中に、信号や速度制限や一時停止マーク等の道路標識及び道路標示を発見時に指差し呼称を行うことで注意力の維持がある程度図れる可能性があることがわかった。

指差し呼称は、高齢ドライバーだけでなく、注意力が散漫の場合や、運転に慣れていない一般ドライバーや、あるいは無謀な運転の傾向がある若者にも必要なものに注意力を向

けさせる（落ち着かせる）ために有効である。このことは、本研究の一連の実験でも一部明らかになっている。また、危険ドライバーの要因として考えられる行動先行型の傾向があるが、交差点や危険な場所で、この指差し呼称を実施し、安全確認行動をとることで、行動優先傾向や急ぎの気持ちを落ち着かせ、安全運転につながる可能性がある。

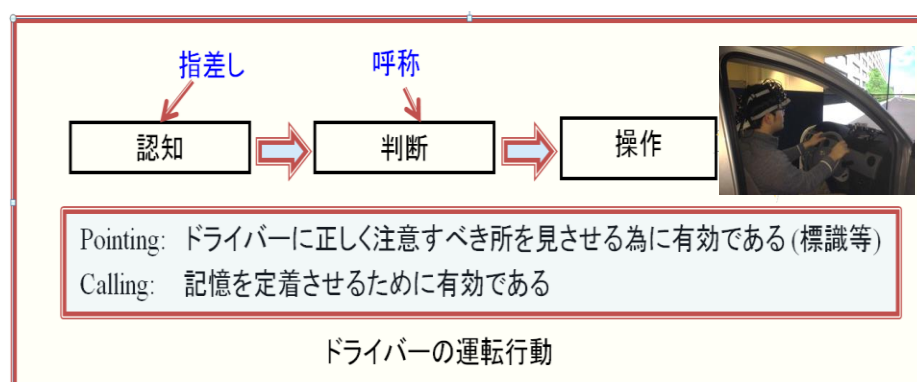


図65. ドライバーの運転行動

高齢者ドライバーの運転適性を計測し、その劣化状況の変化を定期的、あるいは、通常的に計測することと、その劣化した機能を IT でサポートし、高齢者ドライバーを支えることで交通事故を減らしていけると考えている。

本研究では、3 年ごとに義務付けられている高齢者講習時のデータを利用して運転適性能力の計測を行ったが、この計測環境を自動車学校以外の公共施設などに設置して、気軽に検査が行えるようにすることで、より大勢の方に自身の運転適性能力を認識してもらえ。また、車に計測機能を実装し、普段からの運転適性能力を見守ることも考えられる。出来るだけ頻繁に運転能力を計測し続けることで、高齢者の能力低下を一早く見つけることができる。

また、本研究では、劣化した運転能力をサポートする一方法として、指差し呼称を提案したが、それだけでなく、死角補助や接近する自動車や歩行者を知らせる機能、アクセルとブレーキの踏み間違えを感知する機能など、高齢者の不得意とする部分での運転時に必要となる、認知、判断、操作のそれぞれに対する具体的サポート機能との併用も有効であると考えられる。

今後、高齢者の数が急速に増えていく中で、高齢者ドライバーも増えていくと思われ、本研究が、高齢者ドライバーが安心してハンドルを握れる技術の普及につながり、高齢者ドライバーの周りを走る自動車や自転車、歩行者が安心できる世界の実現の一助となれば幸いである。

謝辞

本論文は、愛知県立大学大学院情報科学研究科にて筆者が在学中に行った研究をまとめたものです。この研究を学位論文として形にすることが出来たのは、指導教官の小栗宏次教授の終始に渡っての熱心なご指導ご鞭撻によるもので、ここに深く感謝致します。

本論文の内容、および実験指導などを行って下さった本学の河中治樹准教授、入部百合絵講師、富士通研究所の山影譲アナリティクスセンター長、佐野聡氏に深く感謝致します。

本研究を実施するにあたっての様々な実験、膨大な実験データ整理、資料作成で多大な協力を頂いた本学学生の小島孝雄氏、岸稚佳氏、藤澤洋佑氏に感謝致します。

本論文の執筆にあたって多くのご指導を頂きました、村上和人教授、何立風教授に心より感謝申し上げます。

この研究に対して、高齢者データをご提供頂くともに、多くの助言を頂いた中部日本自動車学校の方々に感謝致します。

社会人博士課程への私の挑戦に快く送り出していただき研究動向を暖かく見守って下さった富士通研究所の鈴木祥治 取締役、森松映史 自動車研究所所長、そのほか富士通研究所の方々に深く感謝致します。

これまで私を明るく励まし続け応援してくれた妻 真澄、娘 祐希、息子 健太に心から感謝します。

本論文をまとめるために多大なご協力・ご援助を頂いた皆様へ心から感謝の気持ちと御礼を申し上げたく、謝辞にかえさせていただきます。

参考文献

- [1] 総務省統計局，人口推計(2015) [cited 2016 Jan. 8]. Available from URL: <http://www.stat.go.jp/data/jinsui/pdf/201512.pdf>
- [2] 総務省，統計データ(2013) [cited 2015 Nov. 20]. Available from URL: <http://www.stat.go.jp/data/topics/topi721.htm>
- [3] 認知症高齢者の自動車運転を考える，平成 19-21 年度厚生労働科学研究費補助金（認知症対策総合研究事業）”「認知症高齢者の自動車運転に対する社会支援のあり方に関する検討」”(H19-認知症-一般-025) 研究班（研究代表者 荒井由美子）(2010) [cited 2015 Nov. 20]. Available from URL: <http://www.dgp2005.com/downloadpage.files/manual110119.pdf>
- [4] 警察庁交通局，運転免許統計(2014) [cited 2016 Jan. 8]. Available from URL: https://www.npa.go.jp/toukei/menkyo/pdf/h26_main.pdf
- [5] 内閣府，平成 24 年版高齢社会白書(2012) [cited 2015 Nov. 20]. Available from URL: http://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2012/zenbun/24pdf_index.html
- [6] 2003 高齢化の状況(交通事故状況)(2012) [cited 2015 Nov. 20]. Available from URL: <http://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2013/zenbun/pdf/1s1s.pdf> (2013)
- [7] Federal Highway Administration, Department of Transportation (US). Highway Statistics (1999) [cited 2015 April 22]. Available from URL: <http://www.fhwa.dot.gov/ohim/hs99/tables/dl20.pdf>
- [8] Federal Highway Administration, Department of Transportation (US). Highway Statistics (2009) [cited 2015 April 22]. Available from URL: <http://www.fhwa.dot.gov/policyinformation/statistics/2009/dl22.cfm>
- [9] Insurance Institute for Highway Safety (IIHS). FATALITY FACTS 2011, Older people (2011) [cited 2015 April 22]. Available from URL: <http://www.iihs.org/research/fatality.aspx?topicName=Older-people>
- [10] 高齢者の四輪運転中の事故，交通事故総合分析センター(2007) [cited 2015 Nov. 20]. Available from URL: <http://www.itarda.or.jp/itardainfomation/info68.pdf>
- [11] 高齢者運転適性ハンドブック，自動車技術会(2005)
- [12] SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）自動走行システム研究開発計画，2015

- 年 5 月 21 日, 内閣府 政策統括官 (科学技術・イノベーション担当) (2015) [cited 2015 Nov. 20]. Available from URL: http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/keikaku/6_jidousoukou.pdf
- [13] 石浦佑一ほか, “CRT 運転適性検査器と自動車におけるアクセルブレーキ動作の筋活動”, 川崎医療福祉学会誌, Vol.17, No.1, P203-207 (2007)
- [14] 大野督史ほか, “高齢運転者のブレーキ時における情報要因の解析”, 交通・物流部門大会講演論文集, pp.267-270, 2005-12-06, 一般社団法人日本機械学会 (2005)
- [15] 金光義弘ほか, “高齢運転者における視野異常の実態”, 川崎医療福祉学会誌, Vol.13, No.2, pp.257-262 (2003)
- [16] 高齢運転者に係る記憶力、判断力等に関する検査の導入等についての提言, 運転免許制度に関する懇談会, 平成 18 年 11 月
- [17] 森田和元ほか, “高齢運転者の認知・操作特性に関わる実験的検討”, 交通安全環境研究所研究発表会講演概要, pp. 93-98, 2005
- [18] 大野耕平ほか, “高齢者の自動車運転挙動と運転免許返納意識に関する分析”, 第 29 回交通工学研究発表会論文集 (2009), [cited 2015 Nov. 20]. Available from URL:<http://www.enveng.titech.ac.jp/yai/thesis.html>
- [19] 蓮花一己, “運転時のリスクテイキング行動の心理的過程とリスク回避行動へのアプローチ”, 国際交通安全学会誌, Vol.26, No.1, p.12-22 (2000)
- [20] 元田良孝ほか, “高齢者の運転意識と安全のギャップに関する研究”, 第 29 回交通工学研究発表会論文集 (2009) [cited 2015 Nov. 20]. Available from <http://p-www.iwate-pu.ac.jp/~motoda/busetcresearch.htm>
- [21] Naomi Rotter et. al, “The Mature Driver: Safety and Mobility Issues, New Jersey Department of Transportation,” FHWA-NJ-2002-013 (2002) [cited 2015 Nov. 20]. Available from <http://www.state.nj.us/transportation/refdata/research/reports/FHWA-NJ-2002-013.pdf>
- [22] 小竹元基ほか, “高齢運転者の運転特性とその背景要因に関する研究 (第 1 報, 高齢者の生活・身体特性と運転特性の関連性)”, 日本機械学会論文集 C 編 71(709), pp.2790-2797 (2005)
- [23] 栗林大祐ほか, “ドライビングシミュレータを用いた高齢ドライバーへの教示方法に関する研究”, SICE 知能システムシンポジウム (2006)
- [24] 高原美和ほか, “高齢ドライバーにおける一時停止支援システムの研究”, 国際交通安全学会誌 Vol.36 No.1 (2011)
- [25] 高齢者の安全運転を支援する車載情報提供システムの開発, 高齢者にやさしい運転

- 環境技術開発研究会 (2011) [cited 2015 Nov. 20]. Available from <https://www.pacific.co.jp/news/2011/20110801-000225.html>
- [26] 神崎洋, “超高齢社会における安心・安全な移動の実現に向けて”, トヨタ自動車株式会社 (2013) [cited 2015 Nov. 20]. Available from URL: http://www.soumu.go.jp/main_content/000219318.pdf
- [27] 警察庁交通局, 一般社団法人日本自動車連盟, “シートベルトの着用状況について”, (2012) [cited 2016 Jan. 8]. Available from URL: https://www.npa.go.jp/koutsuu/kikaku/seatbelt/npa_jaf_research27.pdf
- [28] 警察庁交通局, “平成 25 年中の交通事故死者数について”, (2014) [cited 2016 Jan. 8]. Available from URL: <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001142617>
- [29] Marilyn Di Stefano, Wendy Macdonald, “Assessment of older drivers: Relationships among on-road errors, medical conditions and test outcome”, *Journal of Safety Research* 34, pp. 415–429 (2003).
- [30] Tian-Yi Hu, Xiaofei Xie, Jie Li, “Negative or positive? The effect of emotion and mood on risky driving”, *Transportation Research Part F* 16, pp. 29–40 (2013).
- [31] Fox, Gillian K., Bowden, Stephen C., Bashford, Guy M., Smith, Dennis S., “Alzheimer's Disease and Driving: Prediction and Assessment of Driving Performance”, *Journal of the American Geriatrics Society*, Vol. 45(8), pp. 949–953 (1997).
- [32] Friedland RP, Koss E, Kumar et al., “Motor vehicle crashes in dementia of the Alzheimer type”, *Annals of Neurology*, 24; pp. 782–786 (1988).
- [33] David A. Drachman MD, “Who may drive? Who may not? Who shall decemberide?”, *Annals of Neurology* Vol. 24, Issue 6, pp. 787–788 (1988).
- [34] D O'Neill, K Neubauer, M Boyle, J Gerrard, D Surmon, and G K Wilcock, “Dementia and driving”, *Journal of the Royal Society of Medicine*. April; 85(4): pp. 199–202 (1992).
- [35] 自動車技術会, 高齢者運転適性研究委員会報告書, “高齢者運転適性ハンドブック”, (2005)
- [36] 三浦利章, 石松一真, 菅野理樹夫, 西田泰, 溝端光雄, “有効視野における予期の効果 1—新しい検討方法と加齢の影響—”, *日本心理学会第 65 回大会発表論集*, 251, (2001)
- [37] E.Hartman, “Driver Vision Requirements”, *Society of Automotive Engineers, Technical Paper Series*, Hillsdale, NJ: Erlbaum 700392, pp.629-630, (1970)
- [38] 鈴村昭弘, “空間における動体視知覚の動揺と視覚適性の開発, *日眼会誌* 75 巻 9 号”, (1971)

- [39] 三井達郎, “高齢運転者の視覚機能と標識の認知”, 高速道路と自動車 44(11), pp37-41, (2001)
- [40] 呉景龍, 宮本脩平, 河内山隆紀, 蓮花一己, 矢野雅文, “動的視野加齢効果の計測と交通安全への適用に関する検討”, 国際交通安全学会誌 Vol.34, No.3, (2009)
- [41] 金光義弘, “高齢運転者における視野異常の実態-視野の経年変化に関する調査的研究を通して-”, 川崎医療福祉学会誌 Vol.13, No.2, pp.257-262, (2003)
- [42] C. Owsley, K. Ball, M. E. Sloane, D. L. Roenker and J. R. Bruni, “Visual/cognitive correlates of vehicle accidents in older drivers” Psychol. Aging, 6, 403—415, (1991)
- [43] 宇野宏, “高齢ドライバーの運転特性と支援技術”, 高速道路と自動車 Vol.44, No.12, pp.45-48, (2001)
- [44] 自動車安全運転センター, “運転者の身体的機能の経年変化に関する調査研究報告書”, (2000)
- [45] 西田泰, “年齢層別及び誕生年代別にみた交通事故による死傷者の推移”, 科学警察研究所報告交通編, 37 巻 1 号, (1996)
- [46] 総務庁長官官房交通安全対策室, “高齢者の交通安全行動に応じた交通安全対策の充実に係る調査研究報告書”, (1999)
- [47] 民田 和也ほか, “高齢者講習における運転実習時の記録データに基づく高齢ドライバーの運転行動分析”, 日本機械学会, (19), pp. 283-286 (2010)
- [48] Nidhi Saxena, Prerna Puri, “Relationship between Risk Taking Behaviour”, Personality and Sensation Seeking Tendencies among N.C.C cadets,” IOSR Journal of Humanities and Social Science (IOSR-JHSS), Vol. 18, Issue 3 Nov.–Dec., pp. 1–6 (2013).
- [49] Drake, C. A., “Accident-proneness: A hypothesis”, Journal of Character and Personality, Vol. 8 Issue 4, pp. 335-341 (1940)
- [50] King, G. F. and Clark, J. A., “Perceptual-Motor speed discrepancy and deviant driving”, J. appl. Psychol. 46, pp. 115–119 (1962).
- [51] 中野倫明ほか, “運転者の認知能力の診断技術”, 映像メディア学会誌, Vol. 61, No. 12, pp. 1693-1696 (2007)
- [52] “Cognitive Impairment Screening Test for Senior Drivers,” National Police Agency [cited 2015 April 22]. Available from URL: http://www.npa.go.jp/annai/license_renewal/ninti/index2.htm.
- [53] Solomon PR, Hirschhoff A, Kelly B, Relin M, et al, “A seven minute neurocognitive screening battery highly sensitive to Alzheimer’s disease”, Arch Neuroi 55, pp. 349–355 (1998).

- [54] “講習予備検査等の検証改善と高齢運転者の安全運転継続のための実験の実施に関する調査研究(Ⅱ), 平成23年度警察庁委託調査研究報告書”, 警察庁(2011) [cited 2015 Nov, 20]. http://www.npa.go.jp/koutsuu/menkyo/ninchikinou_reportH23.pdf
- [55] 高齢運転者に関する調査研究(Ⅱ) 平成24年度調査研究報告書, 自動車安全運転センター (2013) [cited 2015 Nov. 20]. Available from URL: http://www.jsdc.or.jp/search/pdf/all/h24_2.pdf
- [56] 新潟通信機株式会社, 高齢者講習用運転適性検査器 [cited 2016 Jan. 8]. Available from URL: <http://www.niigata-t.co.jp/seihin/unteki.html>
- [57] 竹井機器工業株式会社, CRT 運転適性検査器 [cited 2016 Jan. 8]. Available from URL: <http://www.takei-si.co.jp/productinfo/detail/214.html>
- [58] 三菱プレシジョン株式会社, 高齢者講習用運転操作検査器 DS-30 [cited 2016 Jan. 8]. Available from URL: <http://www.mpcnet.co.jp/product/simulation/searchpurpose/training/ds30.html>
- [59] 日立ケーイーシステムズ, ドライビングシミュレータ Tasknet (タスクネット) [cited 2016 Jan. 8]. Available from URL: <http://www.hke.jp/PRODUCTS/tasknet/index.htm>
- [60] Evans DA, Funkenstein HH, Albert MS et al., “Prevalence of Alzheimer's disease in a community population of older adults”, JAMA; 262; pp. 2551–2556 (1989)
- [61] 志村, “近赤外分光法による前頭前野計測—認知症の早期発見とリハビリテーション方法の評価—”, コロナ社 (2009)
- [62] 中條武志, “人に起因するトラブル・事故の未然防止と RCA”, 日本規格協会 (2010)
- [63] 橋本邦衛, 安全人間工学, 中央労働災害防止協会 (2004)
- [64] 高齢者の交通事故, イタルダ・インフォメーション No.53 (2004) [cited 2015 Nov. 20]. Available from URL: <http://www.itarda.or.jp/itardainfomation/info53.pdf>
- [65] 新日本技研株式会社, “安全の取り組み”, [cited 2016 Jan. 8]. Available from URL: http://www.sinnihongiken.co.jp/safty_environment/index.html.
- [66] 東芝プラントシステム株式会社, “安全衛生管理”, [cited 2016 Jan. 8]. Available from URL: <http://www.toshiba-tpsc.co.jp/csr/employee/safety.htm>.
- [67] 川田綾子, 宮腰由紀子, 藤井宝恵, 小林敏生, 田村紫野, 寺岡幸子, “確認作業に「指差し呼称」法を用いた時の前頭葉局所血流変動の比較”, 日本職業・災害医学会会誌, JJOMT Vol.59, No.1, pp.19-26, (2011)
- [68] 篠原一光, 森本克彦, 久保田敏裕, “指差喚呼が視覚的注意の定位に及ぼす影響”, 人間工学会会誌, Vol.45, pp.54-57, (2009)

- [69] 小川誠二, 上野照剛, “非侵襲・可視化技術ハンドブッカーナノ・バイオ・医療から情報システムまで”, 株式会社エヌ・ティー・エス, (2007)
- [70] 江部和俊, 大桑政幸, 稲垣大, “ドライバの視聴覚認知に伴う負担度評価”, 豊田中央研究所 R&D レビュー, Vol.34, No.3, pp.55-62, (1999)
- [71] 中野泰彦, 宮川あゆ, 佐野聡, “ドライバの覚醒度検知技術”, Fujitsu.59, 4, pp.416-420, (2008)
- [72] 東京都教育委員会, “交通事故の現状と要因”, [cited 2016 Jan. 8]. Available from URL: <http://www.kyoiku.metro.tokyo.jp/press/pr111110b/part2.pdf>.
- [73] NHTSA, “National Motor Vehicle Crash Causation Survey Report to Congress”, (2008)
- [74] 財団法人交通事故総合分析センター, “出会い頭事故における人的要因の分析”, イタルダ・インフォメーション, No.56, (2005)
- [75] 総務省, “第 1 章 安全運転支援に関する ITS の現状と動向”, pp.7, (2009) [cited 2016 Jan. 8]. Available from URL: http://www.soumu.go.jp/main_content/000019514.pdf
- [76] 財団法人交通事故総合分析センター, “人はどんなミスをして交通事故を起こすか”, イタルダ・インフォメーション, NO.33, (2001)
- [77] 警察庁交通局, “平成 24 年中の交通事故の発生状況”, (2013) [cited 2016 Jan. 8]. Available from URL: <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/Pdfdl.do?sinfid=000031353144>
- [78] 一般社団法人日本自動車工業会, “交通事故の予防と I T S の活用ー先進安全自動車と車載システムの普及に向けてー”, JAMAGAZINE, 2010 年 6 月号, (2010)
- [79] 山本恵一, “注意力適応型車間距離警報システムの開発,” 自動車技術会論文集, Vol.32 No.4 (2001)
- [80] Bryan Raudenbush, “The Effects of Peppermint on enhancing mental performance and cognitive functioning, pain threshold and tolerance,” digestion and digestive processes, and athletic performance, (2004)
- [81] 岡本若菜, 田子和利, 高橋秀喜, 亀岡弘之, 山本浩司, 小根山裕之, “ベクションドライバ特性に着目したベクション刺激の効果,” 第 11 回 ITS シンポジウム (2012)
- [82] NEXCO, 速度感覚コントロールシステム, [cited 2015 Nov. 20]. Available from URL: <http://www.c-nexco.co.jp/shintomei/lp/pleasant.html#04>
- [83] 財団法人鉄道総合技術研究所, 鉄道技術用語辞典, [cited 2016 Jan. 8]. Available from URL: <http://yougo.rtri.or.jp/dic/>.
- [84] 芳賀繁, “失敗のメカニズム”, 日本出版サービス, (2000)
- [85] 厚生労働省, “社会福祉施設における安全衛生対策テキスト～腰痛対策と KY 活動 |

III KY 活動 KYT 手法”, pp.45, (2013)

- [86] 飯山雄次, “指差唱呼の効果と応用-その科学的背景” 安全, Vol.31, No.12, pp.28-33, (1980)
- [87] 一般社団法人日本民営鉄道協会, “指差確認”, [cited 2016 Jan. 8]. Available from URL: <http://www.mintetsu.or.jp/knowledge/term/105.html>.
- [88] 自治医科大学メディカルシミュレーションセンター, “指差呼称は有効か?”, [cited 2016 Jan. 8]. Available from URL: <http://www.jichi.ac.jp/msc/2010/05/mhf-114/>
- [89] 川田綾子, 宮腰由紀子, 藤井宝恵, 小林敏生, 田村紫野, 寺岡幸子, “確認作業に「指差し呼称」法を用いた時の前頭葉局所血流変動の比較”, 日本職業・災害医学会会誌, JJOMT Vol.59, No.1, pp.19-26, (2011)
- [90] 篠原一光, 森本克彦, 久保田敏裕, “指差喚呼が視覚的注意の定位に及ぼす影響”, 人間工学会会誌, Vol.45, pp.54-57, (2009)
- [91] 芳賀繁, “指差しが眼球運動に及ぼす効果一指差呼称によるエラー防止効果のメカニズムの検証一”, 人間工学, 48 特別号, pp.140-141, (2007)
- [92] 高橋完介, 芳賀繁, “指差呼称が記憶成績に及ぼす効果”, 日本応用心理学会第 70 回大会発表論文集, pp.50, (2003)
- [93] 川田綾子, 宮腰由紀子, 藤井宝恵, 田村紫野, 小林敏生, 山本雅子, 出田聡子, “新人看護師と熟練看護師における「指差し呼称」法確認作業時の前頭葉局所血流変化,” 日本職業・災害医学会会誌 JJOMT Vol. 60, No. 2 (2011)
- [94] 甲斐田幸佐, “自己覚醒法を利用した短時間仮眠の睡眠構造と睡眠慣性に及ぼす効果”, 広島大学総合科学部紀要IV理系編, 第 27 巻 (2001)
- [95] “Heart rate variability, Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use,” European Heart Journal 17, pp.354-381 (1996)
- [96] Yamagishi, N., Callan, D. E., Anderson, S. J., Kawato, M., “Attentional changes in pre-stimulus oscillatory activity within early visual cortex are predictive of human visual performance”, Brain Research, 1197, pp.115-122, (2008)
- [97] 理化学研究所, “第 1 次視覚野・聴覚野の神経応答が「注意」により増幅することを発見”, [cited 2016 Jan. 8]. Available from URL: http://www.riken.jp/~media/riken/pr/press/2008/20080612_1/20080612_1.pdf, 2008.
- [98] 日立ウェアラブル光トポグラフィ-WOT220, [cited 2015 Nov. 20]. Available from URL: <http://www.hitachi.co.jp/products/ot/kogataka/wot.html>
- [99] 柳沼健, 綱島均, 丸重喜高, 小島崇, 伊藤誠, 稲垣敏之, “自動車運転時における前頭連合野の高次機能計測,” 日本機械学会第 16 回交通・物流部門大会講演予稿集

(2007)

- [100] 山口典子, 大崎聡美, 二木淑子, “注意切替課題実施時の前頭前野領域における脳賦活に対して年齢・課題遂行・課題特性が及ぼす影響,” 京都大学大学院医学研究科人間健康科学系専攻紀要, 健康科学第7巻(2011)
- [101] 江田英雄, “NIRSによる脳活動計測の原理とその限界に関して”, 電子情報通信学会技術研究報告.HIP, ヒューマン情報処理, vol.106, no.328, pp.63-66, (2006)
- [102] 小川誠二, 上野照剛, “非侵襲・可視化技術ハンドブッカーナノ・バイオ・医療から情報システムまで”, 株式会社エヌ・ティー・エス, (2007)
- [103] Hoshi Y, Kobayashi N, Tamura M, “Interpretation of nearinfrared spectroscopy signals, A study with a newly developed perfused rat brain model”, Journal of Applied Physiology, Vol.90, No.5, pp.1657-1662, (2001)
- [104] Sakatani K, Murata Y, Fujiwara N, Hoshino T, Nakamura S, Kano T, Katayama Y, “ Comparison of blood-oxygen-level-dependent functional magnetic resonance imaging and near-infrared spectroscopy recording during functional brain activation in patients with stroke and brain tumors ”, Journal of Biomedical Optics, Vol.12, Issue 6, pp.062110, (2007)
- [105] Jueptner M, Willer C, “ Dose measurement of regional cerebral blood flow reflects synaptic activity? -implications for PET and fMRI ”, Neuroimage, Vol.2, No.2, pp.148-156, (1995)
- [106] 柳沢一機, 綱島均, 丸茂喜高, 伊藤誠, 稲垣敏之, “ NIRS を用いた自動車運転時の脳機能計測 (運転支援システムによるドライバの負担軽減の評価)”, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.14, No.2, pp.209-218, (2012)
- [107] 綱島均, 丸茂喜高, 小島崇, “機能的近赤外分光法 (fNIRS)を用いた列車運転士の脳機能計測、習熟による脳活動の変化について”, 第14回鉄道技術連合シンポジウム J-RAIL2007 (2007)
- [108] 若林翔太, 柳沢一機, 綱島均, 丸茂喜高, “ドライバの注意時における脳活動計測,” 日本大学生産工学部第43回学術講演会 (2010)
- [109] 交通安全白書, [cited 2015 Nov. 20]. Available from URL: http://www8.cao.go.jp/koutu/taisaku/h23kou_haku/zenbun/genkyo/h1/h1b1s2_1.html
- [110] 坂井建雄, 久光正, ぜんぶわかる脳の辞典, 成美堂出版 (2011)
- [111] 吉田信彌, 事故と心理—なぜ事故に好かれてしまうのか, pp. 58-78 第2章 エラーの心理学説, 丸山・ドレークの動作本位反応説 (2006)

研究業績

I . 学術論文(査読付き)

- [1] 中野泰彦, 小島孝雄, 河中治樹, 小栗宏次, “指差し呼称を用いた高齢者ドライバー交通事故削減のための注意力向上方法の検討”, 電子情報通信学会論文誌. D, 情報・システム J97-D(1), pp.135-144 (2014)
- [2] Yasuhiko Nakano, Haruki Kawanaka, Koji Oguri, “Analysis of Elderly Drivers’ Performance using a Large-scale Test Data”, IEICE Transactions. E99-A,No.1,pp.-,Jan (2016)

II . 国際会議論文 (査読付き)

- [1] Yasuhiko Nakano, Takao Kojima, Haruki Kawanaka and Koji Oguri, “Study of Notification System for Elderly Drivers,” 20th ITS World Congress, Tokyo, Oct. (2013)
- [2] Yasuhiko Nakano, Takao Kojima, Haruki Kawanaka and Koji Oguri ,“Study of Improving the Cognitive Ability of Elderly Drivers, ”Intelligent Transportation Systems (ITSC), 16th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (2013)
- [3] Yasuhiko Nakano, Satoshi Sano, Yuzuru Yamakage, Chika Kishi, Chisa Takahasi, Yurie Iribe, Haruki Kawanaka and Koji Oguri, “Assessment and prediction of older drivers' driving performance, ” Intelligent Vehicles Symposium (IV) Proceedings, (2014)
- [4] Yasuhiko Nakano, Ayu Miyakawa, Satoshi Sano, Hideo Katoh, DRIVER SLEEPINESS LEVEL DETECTION BASED ON THE HEART RATE VARIABILITY,15th ITS World Congress (2008)
- [5] Yasuhiko Nakano, Satoshi Sano, Yuta Masuda, Hideo Katoh, Ayu Miyakawa, Tomonobu Takashima, Developments in Detecting Driver Drowsiness Level,16th ITS World Congress (2009)
- [6] Masuda, Yuta, Sano, Satoshi, Tomimori, Hideki, Nakano, Yasuhiko, Detecting Driver’s Drowsiness Level Using Auto-Adjust Scale,17th ITS World Congress (2010)

- [7] Yasuhiko Nakano, Yuta Masuda, Junichi Odagiri, Detecting Drivers' Drowsiness Levels with Simple Predetermined Initial State, 18th ITS World Congress (2011)
- [8] Nakano Yasuhiko, Tomimori Hideki, Sano Satoshi, Masuda Yuta, Odagiri Junichi, Kadonaka Hikaru, Development of an Ear-clip-type Optical Biosensor for a Fleet Management System to Detect Drivers' Drowsiness, 19th ITS World Congress (2012)
- [9] Nakano Yasuhiko, Sano Satoshi, Masuda Yuta, Odagiri Junichi, Tomimori Hideki, Driver Condition Monitoring Device Using a Smartphone with an Ear-clip Sensor, 20th ITS World Congress (2013)
- [10] Asako Yumoto, Yasuhiko Nakano, Satoshi Sano, Driver Visual Distraction Analysis Using Percent Area of Interest Method, 21th ITS world congress (2014)
- [11] Yasuhiko Nakano, Satoshi Sano, Koichi Egawa, and Eiichiro Kubota, Improvement of the accuracy of drowsiness detection, 22th ITS world congress (2015)
- [12] Tomimori H., Sano S., and Nakano Y., Development of adaptive noise reduction technology for in-vehicle heartbeat sensor, Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing (ISSNIP) (2011)
- [13] Chisa TAKAHASHI, Yasuhiko NAKANO, Yurie IRIBE, Haruki KAWANAKA and Koji OGURI, "EXTRACTIONING OF THE DRIVING FEATURES OF THE ELDERLY DRIVERS WITH PRE-DEMENTIA DRIVERS FROM DRIVING SIMULATOR TEST " Proc of. ITSWC2014 (2014).
- [14] Yosuke Fujisawa, Yasuhiko Nakano, Md. Shoaib Bhuiyan, Haruki Kawanaka, Koji Oguri, "Elders' driving capability assessment from driving features obtained in the past", 22th ITS World Congress (2015)

Ⅲ. 国内学会発表

- [1] 中野泰彦, 小島孝雄, 河中治樹, 小栗宏次” 高齢者ドライバー安全運転のための注意力向上方法の検討”, 第 11 回 ITS シンポジウム (2012)
- [2] 中野泰彦, 小島孝雄, 河中治樹, 小栗宏次 2, “自動車運転時 “指差し呼称” による前頭葉血流解析”, 第 3 回 NU-Brain シンポジウム(2013)
- [3] 岸稚佳, 小島孝雄, 中野泰彦, 河中治樹, 小栗宏次, “ドライビングシミュレータを用いた指差し呼称運転時の脳血流計測”, 平成 25 年度日本生体医工学会東海支部大会集, セッション A3:循環機能解析, p.26 (2013)
- [4] 岸稚佳, 中野泰彦, 河中治樹, 小栗宏次, Analysis of Safety Check Behavior and Vehicle Operation while Driving Near-miss Course on the Simulator, 情報処理学会研究報告. ITS,

[高度交通システム] 2015(7) 1-7 (2015)

- [5] 佐野聡, 富森英樹, 増田裕太, 小田切淳一, 加藤秀雄, 中野泰彦, “脈拍センサを用いた眠気警報システムの開発”, 情報処理学会「マルチメディア、分散、協調とモバイル(DICOMO2014)シンポジウム」 (2014)
- [6] 中野泰彦, 佐野聡, 角中光, 岩男眞由美, “心拍センサを用いた大型トラック運転中の覚醒度評価”, pp.679-685, 自動車技術会論文集, Vol. 46, No. 3, (2015)

IV. 受賞歴

- [1] 2011 年: Best Paper Award, ITS world congress, Detecting Drivers' Drowsiness Levels with Simple Predetermined Initial State
- [2] 2012 年: 山下記念賞(情報処理学会), 携帯カメラを使った脈拍検出方式, (2011-CDS-1)
- [3] 2014 年: 論文優秀賞 (DICOMO 情報処理学会), 脈拍センサを用いた眠気警報システムの開発